

**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», 2023

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 16 № 3, 2023

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)

Бузинов Роман Вячеславович — ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», д.м.н., доцент, заслуженный врач Российской Федерации (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)

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

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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)

Горский Григорий Анатольевич — ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева», к.м.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. 16 № 3, 2023

RADIATION HYGIENE

Vol. 16 № 3, 2023

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)

Roman V. Buzinov – Federal Budgetary Scientific Facility "North-West Public Health Research Center", doctor of medical sciences, docent, honorable physician of the Russian Federation (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)

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. Alekhovich – 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. Vodovатов – Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, PhD (Saint Petersburg, Russian Federation)

Grigoriy A. Gorskiy – Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Medicine (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 16 № 3, 2023

САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР

Барковский А.Н.

Актуальные вопросы санитарно-эпидемиологического нормирования при использовании техногенных источников ионизирующего излучения.....6

Голиков В.Ю.

Критический анализ существующего подхода к расчету стационарной защиты в рентгеновских кабинетах..... 13

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Романович И.К., Базюкин А.Б., Барковский А.Н., Библин А.М., Братилова А.А., Брук Г.Я., Варфоломеева К.В., Громов А.В., Дроздова Е.А., Жеско Т.В., Иванов С.А., Кадука М.В., Кормановская Т.А., Кравцова О.С., Некрасов В.А., Рамзаев В.П., Сапрыкин К.А., Титов Н.В., Исаков О.А., Злотникова Е.И., Сосницкий А.Г., Филин В.И., Кудряшов А.В., Ладик А.А., Лалаян В.А.

Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации.

Часть 1: Характеристика населенных пунктов22

Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г.

Характеристика радиационного риска, связанного с проведением компьютерной томографии, для российских пациентов, путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни.....37

Чипига Л.А., Водоватов А.В., Мосунов А.А., Сапрыкин К.А., Громов А.В., Васильев С.К., Петрякова А.В., Вазенина Д.А., Одинцова М.В., Номоконова В.Б., Станжевский А.А., Майстренко Д.Н.

Предварительная оценка выведения ²²⁵Ac у пациентов, проходящих радионуклидную терапию с ²²⁵Ac-DOTA-TATE46

Васильев А.С.

Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения.

Часть 2: Гигиеническая оценка доз облучения и радиационных рисков в зависимости от средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений56

Лантух З.А., Шатенок М.П., Дружинина Ю.В., Толкачев К.В., Солдатов И.В., Рыжов С.А., Водоватов А.В.

Российские системы поддержки принятия врачебных решений в лучевой диагностике как элемент обеспечения радиационной безопасности пациентов.....67

Петрякова А.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я.

Контроль качества при оптимизации радиационной защиты пациентов в радионуклидной диагностике.....81

РАДИАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Репин В.С., Варфоломеева К.В., Зеленцова С.А., Седнев К.А., Архангельская Г.В.

Методические особенности наблюдения за многолетней динамикой малых уровней трития в окружающей среде91

ОБЗОРЫ

Дружинина П.С., Романович И.К., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Ахматдинов Р.Р., Братилова А.А., Рыжов С.А.

Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг.101

Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Богатырёва В.Ю.

Условия труда и значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом 118

CONTENTS

Vol. 16 № 3, 2023

SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE

Barkovsky A.N.

Topical issues of sanitary and epidemiological requirements when using technogenic sources of ionizing radiation..... 11

Golikov V.Yu.

Critical analysis of the existing approach to the calculation of radiation shielding in X-ray rooms.....20

RESEARCH ARTICLES

Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Barkovsky A.N., Biblin A.M., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Varfolomeeva K.V., Gromov A.V., Drozdova E.A., Zhesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kormanovskaya T.A., Kravtsova O.S., Nekrasov V.A., Ramzaev V.P., Saprykin K.A., Titov N.V., Isakov O.A., Zlotnikova E.I., Sosnitskiy A.G., Filin V.I., Kudryashov A.V., Ladik A.A., Lalayan V.A.

Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus.

Part 1: Characteristics of the settlements33

Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Vodovатов A.V., Chipiga L.A., Shatskiy I.G.

Characterization of radiation risk associated with computed tomography for the Russian patients using disability-adjusted life years measure.....44

Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Mosunov A.A., Saprykin K.A., Gromov A.V., Vasiliev S.K., Petryakova A.V., Vazhenina D.A., Odintsova M.V., Nomokonova V.B., Stanzhevsky A.A., Maistrenko D.N.

Preliminary assessment of ²²⁵Ac excretion in patients undergoing radionuclide therapy with ²²⁵Ac-DOTA-TATE.....53

Vasilyev A.S.

Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation.

Part 2: Hygienic assessment of doses and health risks depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration.....65

Lantukh Z.A., Shatenok M.P., Druzhinina Yu.V., Talkachev K.V., Soldatov I.V., Ryzhov S.A., Vodovатов A.V.

Russian decision support systems in radiation diagnostics as an element of ensuring the radiation safety of patients 77

Petryakova A.V., Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Smolyarchuk M.Ya.

Equipment quality control during patient radiation protection optimisation in radionuclide diagnostics.....88

RADIATION MEASUREMENT

Repin V.S., Varfolomeeva K.V., Zelentsova S.A., Sednev K.A., Arkhangelskaya G.V.

Methodological features of monitoring the long-term dynamics of low levels of tritium in the environment98

REVIEWS

Druzhinina P.S., Romanovich I.K., Vodovатов A.V., Chipiga L.A., Akhmatdinov R.R., Bratilova A.A., Ryzhov S.A.

Trends in the development of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021 115

Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Bogatyreva V.Yu.

Working conditions and values of average annual effective doses for nondestructive testing operators in the Russian Federation and abroad..... 126

Актуальные вопросы санитарно-эпидемиологического нормирования при использовании техногенных источников ионизирующего излучения

А.Н. Барковский

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

Действующая в Российской Федерации система нормативных требований к обращению с изделиями, содержащими техногенные источники ионизирующего излучения или являющимися ими, недостаточно учитывает различия в радиационной опасности различных видов радиационной техники. Для радиационных объектов различной категории потенциальной радиационной опасности она во многом одинакова. Во всех случаях требуется оформление и санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с источниками ионизирующего излучения санитарным правилам, и лицензии, которые в этом случае практически дублируют друг друга. В качестве одного из возможных путей обеспечения большей дифференциации нормативных требований для учета реальной опасности различных источников предлагается формирование трехуровневой системы санитарно-эпидемиологического нормирования обращения с техногенными источниками ионизирующего излучения. Первый уровень — изделия радиационной техники, дозы облучения людей за счет использования которых не могут превысить установленные гигиенические нормативы для населения при любых условиях обращения, на которые эти изделия рассчитаны. Обращение с ними освобождается от регулирующего контроля и должно проводиться как с изделиями, не представляющими радиационной опасности. Второй уровень — изделия радиационной техники, не представляющие серьезной потенциальной радиационной опасности для людей, но требующие определенного регулирования обращения с ними для обеспечения социально приемлемого уровня радиационной безопасности. Обращение с ними допускается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения, может быть разрешена упрощенная система радиационного контроля. Третий уровень — изделия радиационной техники, представляющие значительную потенциальную радиационную опасность для человека. При нарушениях правил обращения с такими изделиями и в случае радиационной аварии возможно нанесение серьезного вреда здоровью человека. Обращение с ними допускается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения и лицензии. Такой подход при сохранении достигнутого уровня радиационной безопасности позволит значительно упростить систему регулирования и исключить необоснованные препятствия к расширенному использованию радиационной техники. Необходимо также рассмотреть возможность разработки специальных нормативов для обеспечения санитарно-эпидемиологического нормирования использования мобильных и перемещаемых средств медицинской диагностики с использованием источников ионизирующего излучения. Отсутствие таких нормативов тормозит внедрение современных методов рентгенодиагностики.

Ключевые слова: санитарно-гигиеническое нормирование, радиационная безопасность населения, изделия радиационной техники, техногенные источники ионизирующего излучения.

Введение

Действующая в Российской Федерации система санитарно-эпидемиологического нормирования в области обеспечения радиационной безопасности населения при использовании техногенных источников ионизирующего излучения (ИИИ) показала свою эффективность и, в целом, соответствует современным требованиям. Но постоянное расширение использования техногенных ИИИ в промышленности, медицине, науке и иных областях,

а также появление новых видов радиационной техники требует ее дальнейшего развития. Необходимо, чтобы соблюдение установленных гигиенических нормативов, с одной стороны, гарантировало обеспечение социально приемлемого уровня радиационной безопасности населения, а с другой стороны, не создавало неоправданных проблем для внедрения и использования современных систем радиационной техники. Одним из основных направлений реализации основ государственной поли-

Барковский Анатолий Николаевич

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

тики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденных президентом Российской Федерации¹, является «осуществление лицензионных и надзорных процедур, пропорциональных потенциальной опасности объектов использования атомной энергии в мирных и оборонных целях, устройств, генерирующих ионизирующее излучение, а также видов деятельности в области использования атомной энергии путем применения риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности». Реализация данного подхода требует решения целого ряда проблем в области санитарно-эпидемиологического нормирования при обращении с различными видами изделий радиационной техники, содержащих техногенные ИИИ.

В соответствии с международными основными нормами безопасности МАГАТЭ, являющимися общепризнанным документом, содержащим международные требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с техногенными ИИИ [1], жесткость нормативных требований к организации различных видов деятельности с техногенными ИИИ должна соответствовать их реальной опасности. МАГАТЭ рекомендует использовать дифференцированный подход к реализации системы обеспечения радиационной безопасности таким образом, чтобы применение регулирующих требований было соразмерно радиационным рискам, связанным с использованием различных видов радиационной техники.

Действующая в Российской Федерации система нормативных требований к обращению с изделиями, содержащими техногенные ИИИ или являющимися ими (далее – изделия радиационной техники), недостаточно учитывает различие в радиационной опасности различных видов радиационной техники. Предусмотренная Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)² система требований для радиационных объектов различной кате-

гории потенциальной радиационной опасности во многом одинакова. Так, объем требований СанПиН 2.6.1.3264-14³, предъявляемых к обращению с рентгеновскими дефектоскопами, являющимися достаточно мощными ИИИ и представляющими серьезную потенциальную радиационную опасность для человека, мало отличаются от требований СанПиН 2.6.1.3289-15⁴, предъявляемых к рентгенофлуоресцентным анализаторам, уровни излучения используемых в которых ИИИ значительно ниже. Во всех случаях требуется оформление и санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии условий работы с ИИИ санитарным правилам (далее – СЭЗ), и лицензии на право осуществления деятельности в области использования техногенных ИИИ (далее – лицензия), которые в этом случае практически дублируют друг друга.

Предложения по совершенствованию системы нормирования

Одним из возможных путей обеспечения большей дифференциации нормативных требований для учета реальной опасности различных ИИИ является формирование трехуровневой системы санитарно-эпидемиологического нормирования обращения с техногенными ИИИ.

Первый уровень – изделия радиационной техники, дозы облучения людей за счет использования которых не могут превысить установленные гигиенические нормативы для населения при любых условиях обращения, на которые эти изделия рассчитаны. Обращение с ними освобождается от регулирующего контроля, и для них устанавливаются только требования к процедуре освобождения от контроля и к утилизации после вывода из эксплуатации. Обращение с такими изделиями должно проводиться как с изделиями, не представляющими радиационной опасности. К таким изделиям можно отнести значительную часть рентгенофлуоресцентных

¹ Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и на дальнейшую перспективу» [Decree of the President of the Russian Federation #585, 13.10.2018 “On the establishment of Basics of the state policy in the provision of nuclear and radiation safety in the Russian Federation up to 2025 and further perspective” (In Russ.)]

² Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормы 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 99/2009). (In Russ.)].

³ Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии: Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.3164-14. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 5 мая 2014 г. № 34. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 4 августа 2014 г., регистрационный № 33450 [Hygienic requirements for the provision of radiation safety during X-ray flaw detection. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.3164-14. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 05.05.2014 No. 34. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 4, 2014, registration No. 33450. (In Russ.)].

⁴ Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с источниками, генерирующими рентгеновское излучение при ускоряющем напряжении до 150 кВ: Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.3289-15. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 20 июля 2015 г. № 32. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2015 г., регистрационный № 38534 [Hygienic requirements for the provision of radiation safety when handling sources generating X-ray radiation at accelerating voltage up to 150 kV. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.3289-15. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 20.07.2015 No. 32. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2015, registration No. 38534. (In Russ.)].

анализаторов и рентгеновских дифрактометров, электронные микроскопы, целый ряд радиоизотопных приборов, некоторые виды досмотровой рентгеновской техники и др. Критерии освобождения таких изделий от регулирующего контроля приведены в п.п. 1.7.1–1.7.2 ОСПОРБ-99/2010.

Второй уровень – изделия радиационной техники, не представляющие серьезной потенциальной радиационной опасности для людей, но требующие определенного регулирования обращения с ними для обеспечения социально приемлемого уровня радиационной безопасности. При нарушениях правил обращения с такими источниками возможно превышение установленных гигиенических нормативов, но маловероятно причинение здоровью людей значительного ущерба. Обращение с ними допускается при наличии СЭЗ. В этом случае может быть разрешена упрощенная система радиационного контроля. Индивидуальный дозиметрический контроль при обращении с данными изделиями в ряде случаев может быть заменен на групповой дозиметрический контроль. Данный вид изделий должен подлежать учету в государственной системе учета ИИИ. К этому виду могут быть отнесены практически все виды досмотровой рентгеновской техники, радиоизотопные приборы, значительная часть медицинских рентгеновских аппаратов, инспекционно-досмотровые комплексы и др.

Третий уровень – изделия радиационной техники, представляющие значительную потенциальную радиационную опасность для человека. При нарушениях правил обращения с такими изделиями и в случае радиационной аварии возможно нанесение серьезного вреда здоровью человека. Обращение с ними допускается при наличии СЭЗ и лицензии. В этом случае должна предусматриваться серьезная система радиационного контроля, обязательный индивидуальный дозиметрический контроль всего персонала группы А, учет в государственной системе учета ИИИ, серьезная система физической защиты от несанкционированных действий. К таким изделиям могут быть отнесены мощные рентгеновские и радионуклидные дефектоскопы, терапевтические рентгеновские аппараты и медицинские установки с ускорителями электронов, протонов и иных заряженных частиц, мощные ускорители и радиоизотопные установки, используемые для радиационной стерилизации, для научных исследований, для технологической обработки материалов и т.п.

Такой подход к санитарно-эпидемиологическому нормированию в области обеспечения радиационной безопасности населения позволит оптимизировать всю систему регулирования обращения с техногенными ИИИ, исключит необоснованно жесткие требования для обращения со сравнительно безопасными изделиями радиационной техники и позволит усилить надзор за изделиями радиационной техники, представляющими серьезную радиационную опасность.

Действующей системой санитарно-эпидемиологического нормирования определены требования к первому уровню вышеописанной системы – изделия радиационной техники, обращение с которыми освобождается от контроля [2, 3]. Но имеется целый ряд проблем с реализацией такого освобождения. Это и несогласованность нормативных документов Роспотребнадзора и Ростехнадзора, приводящая в ряде случаев к значительным трудностям в практической реализации данного подхода, и отсутствие подходящего инструмента для легитимного документального подтверждения освобождения обращения с такими изделиями от контроля. Использувавшееся для этого до 2011 г. санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию, к сожалению, отменено, а использование для этой цели санитарно-эпидемиологического заключения на деятельность порождает необходимость оформлять его не на вид изделия, а для каждого пользователя, что неудобно и требует значительных и неоправданных временных затрат как для пользователей, так и для надзорных органов. Оптимальным решением данной проблемы было бы восстановление санитарно-эпидемиологического заключения на изделия радиационной техники, в котором бы определялся уровень их потенциальной радиационной опасности и система регулирования безопасности, применяемая к обращению с ними.

Второй уровень вышеописанной схемы частично реализован для радионуклидных ИИИ. Для обращения с радионуклидными ИИИ, активность радионуклида в которых превышает минимально значимую активность (МЗА), приведенную в приложении 4 к Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009)⁵, требуется только СЭЗ, а при превышении минимально лицензируемой активности (МЛА), приведенной в приложении 5 к ОСПОРБ-99/2010, требуется еще и лицензия. Правда, документами Ростехнадзора для источников с активностью менее МЛА предусмотрена процедура регистрации пользователей^{6,7} [5, 6], практически идентичная процеду-

⁵ 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 (далее – НРБ-99/2009) [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 (hereinafter – NRB-99/2009). (In Russ.)]

⁶ Постановление Правительства РФ от 19 ноября 2012 г. № 1184 «О регистрации организаций, осуществляющих деятельность по эксплуатации радиационных источников, содержащих в своем составе только радионуклидные источники четвертой и пятой категорий радиационной опасности» [Decree of the Government of the Russian Federation #1184 “On the registration of facilities using radiation sources containing only radionuclide sources of fourth and fifth categories of radiation hazard” (In Russ.)]

⁷ Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 октября 2013 г. № 504 «Об утверждении формы и порядка ведения реестра организаций, осуществляющих деятельность по эксплуатации радиационных источников, содержащих в своем составе только радионуклидные источники четвертой и пятой категорий радиационной опасности» [The Order of Rostekhnadzor #504 “On the establishment of form and order of the register of facilities using radiation sources containing only radionuclide sources of fourth and fifth categories of radiation hazard” (In Russ.)]

ре лицензирования, что, к сожалению, практически сводит на нет данную дифференциацию.

Проблема оптимального нормативного обеспечения регулирования радиационной безопасности для изделий радиационной техники, относящихся ко второму и третьему уровням предлагаемой схемы, требует корректировки федеральных законов «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии» с последующей детальной проработкой в ОСПОРБ-99/2010 соответствующих критериев классификации изделий радиационной техники и набора требований к обращению с изделиями, отнесенными к различным уровням.

За основу можно принять международно признанные критерии определения потенциальной радиационной опасности радионуклидных ИИИ. Если активность источника менее МЗА – то это первый уровень, более МЗА, но менее МЛА – второй уровень, а более МЛА – третий уровень. Для генерирующих ИИИ можно построить такую же систему, основанную на максимальной мощности дозы, создаваемой такими источниками. Мощность дозы, создаваемую на расстоянии 1 м радионуклидными источниками, основную опасность при обращении с которыми представляет внешнее облучение, с активностью МЗА и МЛА можно использовать в качестве критериев для классификации генерирующих ИИИ.

В таблице 1 представлены значения МЗА и МЛА некоторых наиболее часто используемых радионуклидных

ИИИ и мощности дозы на расстоянии 1 м от точечных радионуклидных источников с такой активностью.

Как видно, для наиболее часто используемых радионуклидов лицензирование обращения с закрытыми радионуклидными источниками необходимо, если они на расстоянии 1 м создают мощность дозы более 10 мЗв/ч. С учетом того, что генерирующие источники, в отличие от радионуклидных, генерируют ионизирующее излучение не постоянно, а только при включении, и для ликвидации возможных радиационных аварий с такими источниками достаточно просто их выключить, для них можно установить критерий на порядок более высокий – превышение мощности дозы 100 мЗв/ч на расстоянии 1 м от источника (без защиты). Тогда лицензия будет необходима только на обращение с рентгеновскими дефектоскопами, рентгеновскими терапевтическими аппаратами, медицинскими ускорителями электронов, установками с ускорителями электронов для стерилизации пищевой и непивной продукции, а также для изменения свойств материалов и другими установками, используемый в которых генерирующий источник ионизирующего излучения создает мощность дозы на расстоянии 1 м более 100 мЗв/ч. В этом случае система регулирования обращения с техногенными ИИИ может быть реализована в соответствии с таблицей 2.

Следует отметить также и необходимость обеспечения государственного учета всех техногенных ИИИ,

Таблица 1

Минимально значимая активность (МЗА) и минимально лицензируемая активность (МЛА) некоторых наиболее часто используемых радионуклидных ИИИ и мощности дозы (МАД) на расстоянии 1 м от точечных источников с такой активностью

[Table 1]

Minimum significant activity (MSA) and minimum licensed activity (MLA) of some of the most commonly used radionuclide sources of ionizing radiation and dose rates (ADER) at a distance of 1 m from point sources with such activity

Радионуклид [Radionuclide]	МЗА, МБк [MSA, MBq]	МАД _{МЗА} [*] , мкЗв/ч [ADER _{MSA} [*] , μSv/h]	МЛА, ТБк [MLA, TBq]	МАД _{МЛА} ^{**} , мЗв/ч [ADER _{MLA} ^{**} , mSv/h]
⁶⁰ Co	0,1	0,03	0,03	9,2
¹⁹² Ir	0,01	0,001	0,08	10
¹³⁷ Cs	0,01	0,001	0,1	10
²²⁶ Ra	0,01	0,002	0,04	9,2

* Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от точечного радионуклидного источника, активность радионуклида в котором равна его МЗА [* – the dose rate of gamma radiation at a distance of 1 m from a point radionuclide source, the activity of the radionuclide in which is equal to its MSA].

** Мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от точечного радионуклидного источника, активность радионуклида в котором равна его МЛА [** – the dose rate of gamma radiation at a distance of 1 m from a point radionuclide source, the activity of the radionuclide in which is equal to its MLA].

Таблица 2

Схема трехуровневой системы регулирования радиационной безопасности при обращении с объектами радиационной техники

[Table 2]

Scheme of a three-level radiation safety regulation system for handling radiation equipment objects

Объекты регулирования [Objects of regulation]	Требования [Requirements]
Изделия радиационной техники, не представляющие радиационной опасности в условиях эксплуатации, на которые они рассчитаны [Radiation technology products that do not present a radiation hazard under the operating conditions for which they are designed]	Освобождения от контроля по результатам экспертизы. Утилизация источника (изделия) после вывода из эксплуатации [Release from control based on the results of the examination] [Disposal of the source (product) after decommissioning]

Объекты регулирования [Objects of regulation]	Требования [Requirements]
Изделия радиационной техники, не представляющие серьезной потенциальной радиационной опасности для людей, но требующие определенного регулирования обращения с ними для обеспечения приемлемого уровня радиационной безопасности [Radiation technology products that do not pose a serious potential radiation hazard to humans but require some regulation of their handling to ensure an acceptable level of radiation safety]	Оформление СЭЗ. Упрощенная схема радиационного контроля. Групповой дозиметрический контроль (ИДК не обязателен) [Registration of sanitary-epidemiological documents. Simplified scheme of radiation control. Group dosimetric control (individual dosimetric control is not required).]
Изделия радиационной техники, представляющие значительную потенциальную радиационную опасность для человека [Radiation technology products that pose a significant potential radiation hazard to humans.]	Оформление СЭЗ. Оформление лицензии. Обязательный ИДК. Полная схема радиационного контроля (постоянный стационарный и периодический переносными приборами) [Registration of sanitary-epidemiological documents. Registration of a license. Mandatory individual dosimetric control. Full scheme of radiation monitoring (permanent stationary and periodic portable devices)]

представляющих радиационную опасность. В настоящее время в Российской Федерации функционирует Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и РАО)⁸, в которой учитываются только радиоактивные вещества и радиоактивные отходы. Генерирующие ИИИ учету в данной системе не подлежат, хотя многие из них представляют не меньшую потенциальную радиационную опасность при некорректном или злонамеренном использовании. В настоящее время необходимость государственного учета генерирующих ИИИ признана одним из основных направлений реализации утвержденных Президентом Российской Федерации основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности [1].

Из существующих проблем санитарно-эпидемиологического нормирования в области обеспечения радиационной безопасности хотелось бы обратить внимание и на практически полное отсутствие специальных гигиенических требований по использованию стационарных средств медицинской диагностики с использованием техногенных ИИИ. Даже для такого распространенного вида медицинской техники, как передвижные флюорографические кабинеты, отсутствуют специальные требования к их оборудованию. Использование же в этом случае требований к стационарным рентгеновским кабинетам невозможно, так как многие из них нереализуемы для используемых для этой цели средств автомобильной техники. Необходима разработка специальных требований к таким объектам, обеспечивающих радиационную безопасность персонала, пациентов и населения и реализуемых для реальных транспортных средств. Необходимо также разработка специальных требований к использованию специалистами скорой помощи и медицины ката-

строф переносных средств рентгенодиагностики в жилых и общественных зданиях. Технические возможности для этого имеются, но нормативно-правовая основа данного вида деятельности в настоящее время отсутствует. Необходимо рассмотреть также возможность разработки специальных нормативов для эксплуатации перемещаемых модулей для проведения высокотехнологичной медицинской помощи с использованием средств диагностики и лечения с ИИИ. Т.е. имеется целый ряд проблем в области санитарно-эпидемиологического нормирования использования мобильных и перемещаемых средств медицинской диагностики с использованием ИИИ.

Заключение

Все вышеперечисленные проблемы порождаются быстрым развитием современных средств радиационной техники, значительным расширением сферы ее использования. Необходимо обеспечить соответствующее развитие системы санитарно-эпидемиологического нормирования, обеспечивающее в этих условиях приемлемый уровень радиационной безопасности населения, но не создающее неоправданных препятствий для развития и внедрения новых видов радиационной техники и технологий ее использования. Это достаточно сложная задача, но ее решение совершенно необходимо.

Литература

1. IAEA Safety Standards. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. No. GSR Part 3. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
2. Барковский А.Н., Титов Н.В., Зельдин А.Л. Освобождение обращения с техногенными источниками ионизирующего излучения от специальной регламентации // Радиационная гигиена. 2012. Т. 5. № 4. С. 40-44.

⁸ Положение об организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 15 июня 2016 г. № 542 [Statement on the organization of the system of state accounting and control of radioactive substances and radioactive waste. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation #542 (In Russ.)]

3. Барковский А.Н., Романович И.К. К вопросу освобождения техногенных источников ионизирующего излучения от контроля. Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами. Материалы

Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией А.Ю. Поповой. 2017. С. 32-33.

Поступила: 04.07.2023 г.

Барковский Анатолий Николаевич – главный научный сотрудник, руководитель Федерального радиологического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: anbarkovski@yandex.ru

Для цитирования: Барковский А.Н. Актуальные вопросы санитарно-эпидемиологического нормирования при использовании техногенных источников ионизирующего излучения // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 6-12. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-6-12

Topical issues of sanitary and epidemiological requirements when using technogenic sources of ionizing radiation

Anatoly N. Barkovsky

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 current system of regulatory requirements in the Russian Federation for the handling of products containing or being man-made sources of ionizing radiation does not sufficiently take into account differences in the radiation hazard of various types of radiation equipment. For radiation objects of different categories of potential radiation hazard, it is largely the same. In all cases, it is required to issue a sanitary and epidemiological conclusion on the compliance of working conditions with ionizing radiation sources with sanitary rules and licenses, which in this case practically duplicate each other. As one of the possible ways to ensure greater differentiation of regulatory requirements taking into account the real danger of various sources, the formation of a three-level system of sanitary and epidemiological regulation of the use of technogenic sources of ionizing radiation is proposed. The first level is radiation equipment products, the radiation doses of people due to the use of which cannot exceed the established hygienic standards for the population under any conditions of the use for which these products are designed. Their handling is exempt from regulatory control and should be carried out as with products that do not pose a radiation hazard. The second level is radiation technology products that do not pose a serious potential radiation hazard to people, but require certain regulation of their handling to ensure a socially acceptable level of radiation safety. Handling of them is allowed in the presence of sanitary and epidemiological conclusion, and a simplified radiation monitoring system may be allowed. The third level is the products of radiation technology that pose a significant potential radiation hazard to humans. A serious harm to human health is possible in case of violations of the rules for handling such products and in the event of a radiation accident. Handling them is allowed if there is a sanitary and epidemiological conclusion and a license. Such an approach, while maintaining the achieved level of radiation safety, will significantly simplify the regulatory system and eliminate unreasonable obstacles to the expanded use of radiation technology. It is also necessary to consider the possibility of developing special standards to ensure sanitary and epidemiological requirements of the use of mobile and mobile medical diagnostics using sources of ionizing radiation. The absence of such standards hinders the implementation of modern methods of X-ray diagnostics.

Key words: sanitary and hygienic requirements, radiation safety of the population, radiation equipment products, technogenic sources of ionizing radiation.

Anatoly N. Barkovsky

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

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

References

1. IAEA Safety Standards. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. No. GSR Part 3. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
2. Barkovsky AN, Titov NV, Zeldin AL. Exemption of handling technogenic sources of ionizing radiation from special regulation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2012;5(4): 40-44. (In Russian).
3. Barkovsky A.N., Romanovich I.K. On the issue of the release of technogenic sources of ionizing radiation from control. Topical issues of the organization of control and supervision of physical factors. Materials of the All-Russian Scientific and practical Conference. Edited by A.Y. Popova; 2017. P. 32-33. (In Russian).

Received: July 04, 2023

For correspondence: Anatoly N. Barkovsky – Head of the Federal Radiological Center of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101; E-mail: anbarkovski@yandex.ru)

For citation: Barkovsky A.N. Topical issues of sanitary and epidemiological requirements when using technogenic sources of ionizing radiation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 6-12. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-6-12

Критический анализ существующего подхода к расчету стационарной защиты в рентгеновских кабинетах

В.Ю. Голиков

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

В статье продемонстрированы недостатки существующей методологии расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов, изложенной в СанПиН 2.6.1.1192-03. Показано, что алгоритм расчета коэффициента ослабления барьером не учитывает особенности ослабления разных компонентов рентгеновского излучения: прямого, рассеянного и излучения утечки, которые отличаются областью возникновения, интенсивностью, энергетическим спектром и другими параметрами. Вместо этого используется единая формула для всех компонентов, а отличия в их ослаблении учитываются параметром, значения которого для разных компонентов излучения никак не обоснованы и вызывают сомнения. В расчете также не учитывается распределение рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов по напряжению на трубке и существенное ослабление прямого рентгеновского излучения дополнительными конструкциями, необходимыми для получения изображения. Рекомендуются для проектирования защиты в СанПиН 2.6.1.1192-03 значения радиационного выхода рентгеновских аппаратов в 2–3 раза завышены по отношению к измеряемым на практике значениям. Все это приводит, как правило, к необоснованному завышению расчетной толщины стационарной защиты в рентгеновских кабинетах и, соответственно, к неоптимальному расходованию средств на здравоохранение. Необходима подготовка нового документа в части, касающейся методологии расчета стационарной защиты взамен методологии, представленной в СанПиН 2.6.1.1192-03.

Ключевые слова: рентгеновский кабинет, стационарная защита от излучения, коэффициент ослабления, прямое излучение, рассеянное излучение, медицинские исследования.

Источники излучения в рентгеновских кабинетах

При расчете стационарной защиты рентгеновских кабинетов рассматривают 3 источника излучения: первичное, рассеянное и излучение утечки [1, 2].

Первичное излучение представляет собой излучение широкого энергетического спектра, испускаемого рентгеновской трубкой. Оно состоит из фотонов, не испытавших взаимодействия с телом пациента, конструкциями аппарата, приемника изображения и т.п. Интенсивность первичного излучения на несколько порядков величины больше, чем рассеянного или излучения утечки. В большинстве случаев при выполнении рентгеновских исследований первичный пучок излучения полностью экранируется телом пациента, что приводит к его значительному поглощению (наиболее важное исключение – рентгенография конечностей). Если типичная входная доза на поверхности тела пациента составляет около нескольких мГр, то доза на выходе из его тела (на входе приемника изображения) измеряется в мкГр. Кроме того, при прохождении через тело пациента существенно ужесточается спектр излучения. Так, например, интенсивность рентгеновского излучения с напряжением на трубке 85 кВ

и общей фильтрацией 3,5 мм Al после прохождения 16 см мягких тканей и 2 см кости уменьшается приблизительно в 300 раз. При этом средняя энергия его спектра увеличивается с 47 кэВ на входе в тело пациента до 62 кэВ на выходе из него.

Рассеянное излучение неизбежно возникает в процессе выполнения медицинского исследования как результат комптоновского взаимодействия первичного излучения с телом пациента и окружающими предметами. Интенсивность рассеянного излучения зависит от используемых размеров поля первичного излучения, характеристик его спектра и угла рассеяния. Значение кермы в воздухе рассеянного излучения в общем случае составляет от 10^{-5} до 10^{-6} от значения кермы падающего на пациента излучения, рассчитанного на 1 см^2 площади падающего пучка.

Излучение утечки возникает из-за того, что фотоны испускаются мишенью трубки во всех направлениях. Его интенсивность определяется при максимально возможном напряжении на трубке (140–150 кВ) и ограничивается для диагностических аппаратов (кроме дентальных) значением мощности кермы в воздухе на расстоянии 1 м

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

от фокуса трубки 1мГр/ч. Это ограничение достигается экранированием кожуха трубки с помощью 2,1–2,5 мм свинца. Большинство рентгенологических исследований выполняется при напряжениях на трубке менее 100 кВ. Поэтому в реальности интенсивность излучения утечки будет значительно меньше, чем интенсивность, определенная при максимально возможном напряжении на трубке. При напряжении на трубке 80 кВ мощность кермы в воздухе, обусловленная излучением утечки, будет составлять около 14 мкГр/ч, что в 70 раз меньше, чем граничное значение 1 мГр/ч. Вообще на практике среди двух компонентов вторичного излучения, утечки и рассеянного на 90 градусов интенсивность последнего значительно больше (от 10 раз при напряжении на трубке 140 кВ до 10⁸ раз при напряжении на трубке 50 кВ). Таким образом, основное внимание необходимо уделять расчету защиты от прямого и рассеянного излучения.

История вопроса

Требования к параметрам и существующий алгоритм расчета толщины стационарной защиты рентгеновского кабинета изложены в СанПиН 2.6.1.1192-03¹: «Расчет радиационной защиты основан на определении кратности ослабления K мощности поглощенной дозы D_0 рентгеновского излучения в воздухе в данной точке в отсутствие защиты до значения допустимой мощности поглощенной дозы ДМД в воздухе:

$$K = \frac{D_0}{\text{ДМД}} = 10^3 \cdot \frac{R \cdot W \cdot N}{\text{ДМД} \cdot 30 \cdot r^2}, \text{ отн. ед.} \quad (1)$$

где: R – радиационный выход рентгеновского аппарата, мГр·м²/(мА·мин);

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

N – коэффициент направленности излучения, отн. ед.;

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

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

10³ – множитель перевода мГр в мкГр».

Этот алгоритм не учитывает особенности ослабления разных компонентов рентгеновского излучения: прямого, рассеянного и излучения утечки, которые отличаются областью возникновения, интенсивностью, энергетическим спектром и другими параметрами (рис. 1). Вместо этого используется единая формула (1) для всех компонентов, а отличия в их ослаблении учитывается параметром N , значения которого для разных компонентов излучения никак не обоснованы и вызывают сомнения.

СанПиН 2.6.1.1192-03 был опубликован и вступил в действие 20 лет назад и, по-видимому, в значительной мере основывался на данных Публикации № 49 NCRP [2]. Данные и методология расчета стационарной защи-

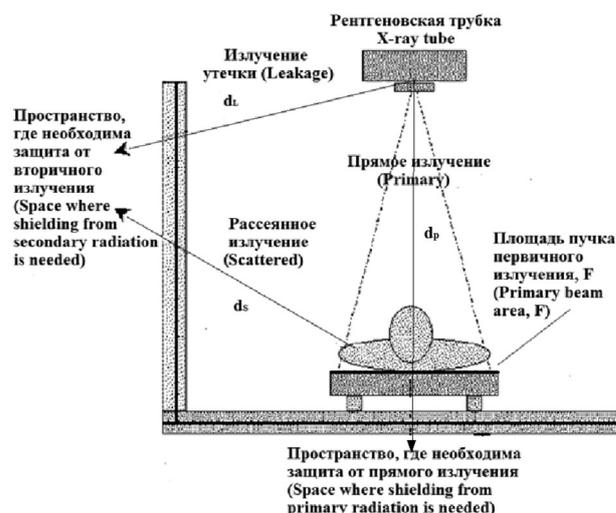


Рис. 1. Схематическая иллюстрация компонентов излучения в рентгеновском кабинете [1]

[Fig. 1. Schematic illustration of radiation components in an X-ray room [1]]

ты, представленные в Публикации № 49 NCRP, большей частью базируются на результатах измерений 1960–1970-х гг., выполненных на однофазных рентгеновских аппаратах, или расчетных исследований, выполненных в предположении узкого пучка излучения [3–6]. Они ограничены пригодны для современных аппаратов с трехфазным или постоянным потенциалом на трубке. Кроме того, данные, представленные в Публикации № 49 NCRP, имеют следующие недостатки:

- в значительной мере, отсутствует информация об ослаблении рентгеновского излучения для материалов, отличных от свинца, бетона или железа;

- рекомендуемые рабочие нагрузки рентгеновских аппаратов слишком консервативны и относятся к максимальному значению напряжения на трубке, не учитывая, что на практике для различных исследований используются разные напряжения;

- алгоритм расчета коэффициента ослабления барьера не учитывает существенное ослабление прямого излучения телом пациента и конструкциями аппарата и приемника изображения;

- отсутствует алгоритм расчета защиты от нескольких рентгеновских аппаратов и др.

Все это послужило причиной ревизии данных и методологии расчета стационарной защиты, представленной в Публикации № 49 NCRP, выполненной Американской ассоциацией медицинских физиков в 1990-е гг. [7–11]. Это привело к появлению в 2004 г. новой Публикации № 147 NCRP [1], посвященной этим вопросам. К сожалению, эти нововведения не нашли отражение в СанПиН 2.6.1.1192-03.

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

Сопоставление различных методологий расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов

Используемые дозовые критерии

Согласно СанПиН 2.6.1.1192-03, значение допустимой мощности дозы (ДМД), выражаемой в терминах кермы в воздухе, для представителей различных категорий облучаемых лиц рассчитывается исходя из значений дозового предела (ПД), выражаемого в терминах эффективной дозы, с учетом коэффициентов занятости T и сменности n помещений по формуле;

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

где: $\lambda = \frac{2(мГр / мЗв)}{2}$ – отношение коэффициента перехода от эффективной дозы к керме в воздухе к значению коэффициента запаса, равного 2 (согласно ОСПОРБ 99/2010); t_c – продолжительность работы на рентгеновском аппарате в течение года при односменной работе персонала группы А.

Значение коэффициента перехода от эффективной дозы к керме в воздухе в СанПиН 2.6.1.1192-03 необоснованно принято равным 2 мГр/мЗв, что соответствует значению более известного на практике коэффициента перехода от кермы в воздухе к эффективной дозе $C^E = E/K_a = 0,5$ мЗв/мГр. На самом деле в диагностическом диапазоне энергий рентгеновского излучения значения C^E для геометрии передне-заднего облучения человека (консервативный вариант) находятся в интервале 0,6–1,2 мЗв/мГр со средним около 1 мЗв/мГр [12, 13]. То есть если использовать правильное среднее значение коэффициента перехода от эффективной дозы к воздушной керме, равное 1 Гр/Зв, а не 2 Гр/Зв, как в СанПиН 2.6.1.1192-03, то с учетом коэффициента запаса 2 значения ДМД уменьшились бы в 2 раза. Иными словами, требования к толщине защитных барьеров ужесточились бы.

Зарубежные нормативные документы [1, 14] также рекомендуют использовать керму в воздухе при выполнении расчетов стационарной защиты, не вводя каких-либо коэффициентов перехода от эффективной дозы к керме и каких-либо коэффициентов запаса. При этом указывается, что использование в расчетах защиты кермы в воздухе будет обеспечивать дополнительный консерватизм в оценке толщины защиты, особенно при низких значениях напряжения на рентгеновской трубке. Обратим также внимание на то, что за рубежом при расчете значений ДМД при проектировании новых помещений с рентгеновским оборудованием в качестве ориентира используют установленное значение граничной дозы для источника для соответствующей категории лиц (т.е. используют метод квотирования источников). Так, в США расчет защиты в контролируемой зоне для медицинского персонала (аналог ситуации с персоналом группы А) проводится, исходя из граничной дозы 5мЗв/год [1], а в Англии – 1мЗв/год для каждого источника [14]. Расчет защиты для населения в Англии проводится, исходя из граничной дозы (квоты) 0,3 мЗв/год [14] для каждого источника. Напомним, что в СанПиН 2.6.1.1192-03 значения ДМД получают исходя из пределов доз для персонала и населения в 20мЗв/год и 1мЗв/год соответственно, т.е. без какого-либо квотирования.

Новые данные по ослаблению рентгеновского излучения в различных материалах

В 1983 г. была разработана трехпараметрическая эмпирическая модель для описания ослабления широкого пучка рентгеновского излучения, генерируемого современными рентгеновскими аппаратами в различных материалах [9]:

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) \cdot \exp(\alpha \cdot \gamma \cdot x) - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (3)$$

где: B – доля излучения, прошедшего через барьер (величина, обратная коэффициенту ослабления, используемому в СанПиН 2.6.1.1192-03); x – толщина барьера; α, β, γ – параметры, зависящие от напряжения на рентгеновской трубке и фильтрации излучения, т.е. его энергетического спектра и материала защиты.

Соотношение (3) может быть преобразовано для расчета толщины барьера следующим образом:

$$x = \frac{1}{\alpha \cdot \gamma} \cdot \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \beta / \alpha}{1 + \beta / \alpha} \right] \quad (4)$$

Исследования Archer [8], Rossi et al. [15], Simpkin [10], Christensen и Sayeg [16] среди прочих обеспечили накопление новых данных об ослаблении рентгеновского излучения трехфазных аппаратов и аппаратов с постоянным напряжением на трубке от 50 до 150 кВ, основанных на измерениях и расчетах. В результате значения параметров α, β, γ были определены для многих материалов, таких как свинец, железо, бетон, стекло, гипсокартон, дерево, баритовая штукатурка и др. Для диапазона энергий рентгеновского излучения, используемого в маммографии (напряжения на трубке 25–35 кВ), параметры α, β, γ представлены в работе [17].

Как отмечалось выше, первичное излучение сильно поглощается телом пациента и конструкциями аппарата с последующим ужесточением его спектра. Вполне разумно для дальнейших расчетов его прохождения через стационарную защиту использовать предположение о приближении его к моноэнергетическому излучению со слоем половинного ослабления, для определения которого можно использовать следующее преобразование формулы (3):

$$\ln(B) = -\alpha \cdot x - \left[\frac{1}{\gamma} \cdot \ln \left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \quad (5)$$

При увеличении x вторым членом формулы (5) можно пренебречь. Тогда закон ослабления излучения будет приближаться к экспоненциальному с постоянной α . Таким образом, при выполнении расчетов защиты первичное излучение после его значительного ослабления телом пациента и конструкциями аппарата можно характеризовать асимптотическим слоем половинного ослабления, равным $(\ln 2)/\alpha$.

Методологии расчета толщины стационарной защиты

В общем виде методология расчета толщины стационарной защиты включает:

1. Выбор дозового критерия в виде измеряемой величины – допустимой мощности дозы (кермы) в воздухе, значение которой зависит от категории облучаемых

лиц и максимальной продолжительности их возможного облучения в данном помещении (времени нахождения в помещении).

2. Выбор алгоритма расчета значения мощности кермы в воздухе, включающего оценку расстояния от фокуса рентгеновской трубки (для компонента прямого излучения) и пациента (для компонента рассеянного излучения) до точки расчета (см. рис. 1).

3. Расчет необходимого коэффициента ослабления мощности кермы в воздухе, рассчитанной на втором этапе, до значений допустимой мощности кермы в воздухе, рассчитанной на первом этапе.

О выборе дозового критерия и способе расчета необходимого коэффициента ослабления было сказано выше. Остановимся теперь на сравнении современной методологии расчета мощности кермы в воздухе от компонентов прямого и рассеянного излучения в рентгеновских кабинетах с методологией, изложенной в СанПиН 2.6.1.1192-03.

В настоящее время в разных странах используют разные подходы для определения толщины стационарной защиты от излучения в рентгеновских кабинетах. Так, в Германии информация о необходимой толщине стационарной защиты в типовых рентгеновских кабинетах различного назначения прямо содержится в национальных стандартах в виде табулированных данных [18]. В США прогнозируемые значения мощности кермы в воздухе от компонентов прямого и вторичного (рассеянного) излучения оцениваются на основе недельных рабочих нагрузок рентгеновских аппаратов различного назначения, а в кабинетах компьютерной томографии используются значения произведения дозы на длину сканирования (*DLP*) [1]. В Англии для этих целей используют дозовые величины, связанные с пациентом, – произведение дозы на площадь (ПДП) в рентгенографии и рентгеноскопии и *DLP* в компьютерной томографии [14].

Сравним современный подход к расчету толщины стационарной защиты [1, 12, 14] и действующую в настоящее время в РФ методологию расчета из СанПиН 2.6.1.1192-03.

Как уже отмечалось выше, расчет значений поглощенной дозы (кермы) в воздухе до защитного барьера и далее коэффициента ослабления рентгеновского излучения защитным барьером в СанПиН 2.6.1.1192-03 производится независимо от того, прямое это излучение или рассеянное, с помощью одной и той же формулы (1). При современном подходе расчет поглощенной дозы в воздухе и коэффициента пропускания (ослабления) излучения защитным барьером от каждого рентгеновского аппарата производится отдельно для компонентов первичного $D_p(x, m)$ и рассеянного $D_s(x, m)$ излучения:

$$D_p(x, m) = \frac{1}{d_p^2} \cdot \sum_{kVp} \frac{R(kVp)}{K(x + x_{pre}, kVp, m)} \cdot U \cdot W(kVp), \text{ мГр/нед (6)}$$

$$D_s(x, m) = \frac{F}{d_p^2 \cdot d_s^2} \cdot \sum_{kVp} \frac{R(kVp) \cdot \alpha(kVp)}{K(x, kVp, m)} \cdot W(kVp), \text{ мГр/нед (7)}$$

где: $R(kVp)$ – радиационный выход рентгеновского аппарата в зависимости от напряжения на аноде трубки, мГр·м²/(мА·мин); $W(kVp)$ – доля значений рабочей нагрузки рентгеновского аппарата ((мА·мин)/нед) в ее распределении по напряжению на трубке; $\alpha(kVp)$ – фракция

рассеянного излучения, отн. ед.; $K(x + x_{pre}, kVp, m)$ – коэффициент ослабления первичного компонента рентгеновского излучения защитным барьером из материала m толщиной x , отн. ед.; $K(x, kVp, m)$ – коэффициент ослабления рассеянного компонента рентгеновского излучения защитным барьером отн. ед. Остальные обозначения приведены на рисунке 1.

Формула (6) для расчета поглощенной дозы в воздухе от прямого излучения по своей структуре похожа на формулу (1) из СанПиН 2.6.1.1192-03. Однако ее параметры существенно отличаются от параметров формулы (1) тем, что отражают реальные физические процессы и соответствуют их значениям, используемым на практике.

Учет распределения рабочей нагрузки рентгеновского аппарата по напряжению на трубке

В настоящее время в Российской Федерации при расчетах стационарной защиты в рентгеновских кабинетах используется консервативное предположение конца 1970-х гг., состоящее в том, что вся рабочая нагрузка рентгеновского аппарата W реализуется при практически максимальном значении напряжения на аноде трубки. Так, например, для рентгеновских аппаратов общего назначения W приводится для напряжения на трубке 100 кВ. На самом деле медицинские процедуры выполняются в широком спектре значений напряжений на аноде трубки: приблизительно треть процедур (костно-суставная система конечностей) выполняется при напряжениях 50–60 кВ, диагностику органов брюшной полости проводят при напряжениях на трубке 70–80 кВ, и только часть исследований органов грудной клетки проводится при напряжениях 100 кВ и более. Для расчета оптимальной толщины стационарной защиты рентгеновского кабинета более важно знать распределение W в зависимости от напряжения на трубке, чем его абсолютное значение. Дело в том, что защитные свойства барьеров изменяются с изменением напряжения на трубке (спектра рентгеновского излучения) экспоненциально (на 3 порядка величины в диапазоне напряжений 60–100 кВ), тогда как от суммарного значения они зависят лишь линейно. Более того, значения W , указанные в таблице 4.1 СанПиН 2.6.1.1192-03, для некоторых типов рентгеновских аппаратов явно устарели и не отражают изменений их технических параметров, произошедшие за последние 20–30 лет. Так, с одной стороны, значение $W = 1000$ (мА·мин)/нед. для аппаратов общего назначения является завышенным в 2–3 раза, тогда как $W = 400$ (мА·мин)/нед. для компьютерных томографов занижено 10–40 раз [1, 12, 19].

Учет распределения рабочей нагрузки аппарата по направлению падения излучения внутри рентгеновского кабинета

В формулу (6) для расчета дозы от компонента прямого излучения дополнительно введен так называемый «use factor, U », определяемый как фракция рабочей нагрузки аппарата, когда прямое излучение направлено на заданный защитный барьер (стену, потолок, пол). В формуле (1) из СанПиН 2.6.1.1192-03 этот фактор всегда равен 1 ($N=1$), даже когда лишь незначительная часть рабочей нагрузки аппарата реализуется при направлении падения излучения на этот барьер. Согласно же [1], были установлены следующие значения U в кабинетах, где проводятся рент-

генографические процедуры с расположением трубки над столом-штативом в его горизонтальном положении: 0,89 – пол, 0,09 – боковая стена, на которую падает излучение при проведении снимков в положении пациента на боку на столе-штативе, 0,02 – другая боковая стена. Таким образом, используя $U=1$, для 2 боковых стен мы будем превышать требования к ослаблению пучка первичного излучения, падающего на них, в 10 и 50 раз соответственно.

Учет ослабления компонента прямого рентгеновского излучения в рассеивающей решетке, приемнике изображения и других конструкциях аппарата

При расчете кратности ослабления защиты, согласно СанПиН 2.6.1.1192-03, не учитывается ряд обстоятельств, значительно уменьшающих на практике мощность дозы рентгеновского излучения еще до защиты, а именно – поглощение излучения в теле пациента, рассеивающей решетке, приемнике изображения и других конструкциях аппарата. Так, согласно данным работ [20, 21], поглощение компонента прямого рентгеновского излучения только в рассеивающей решетке и кассете приемника изображения для спектров с напряжением на трубке в диапазоне от 50 кВ до 140 кВ уменьшает его интенсивность в 4–40 раз. В Публикации № 147 NCRP [1] предлагается консервативный подход, учитывающий ослабление прямого излучения только дополнительным оборудованием рентгеновского аппарата (приемником изображения, рассеивающей решеткой, рентгенографическим столом) и игнорирующий ослабление излучения телом пациента. При этом значения x_{pre} , отвечающие за поглощение прямого излучения этими конструкциями в формуле (6), в диагностическом диапазоне энергий могут составлять от 0,3 до 0,85 мм свинца.

Радиационный выход рентгеновских аппаратов

Наконец, сравним значения радиационного выхода рентгеновских аппаратов, рекомендуемых для использования в расчетах защиты в СанПиН 2.6.1.1192-03 (приложение 9, табл. 1), и современные данные, основанные на результатах измерений с аппаратами с вольфрамовым анодом и фильтрами из алюминия при напряжении на трубке более 40 кВ [8]. Результаты сравнения, представленные на рисунке 2, свидетельствуют, что значения радиационного выхода аппаратов из СанПиН 2.6.1.1192-03 выше соответствующих измеряемых на практике значений в 2–3 раза. Отметим также, что последние хорошо согласуются с аналогичными значениями, измеренными нами для трехфазных 6- и 12-пульсных рентгеновских аппаратов с общей фильтрацией излучения, эквивалентной 3–5 мм Al в медицинских учреждениях г. Санкт-Петербурга в 2007–2009 гг. [22].

Что касается рассеянного излучения, то, согласно СанПиН 2.6.1.1192-03, обусловленная им мощность дозы рассчитывается по той же формуле (1), что и для прямого излучения при $N = 0,05$ независимо ни от каких значений физико-технических параметров проведения медицинской процедуры. В СанПиН 2.6.1.1192-03 и другой литературе объяснения этому решению найдено не было.

На самом деле интенсивность этого компонента излучения определяется углом рассеяния (отсчитывается от направления центрального луча первичного пучка излучения), числом фотонов первичного пучка, падающих

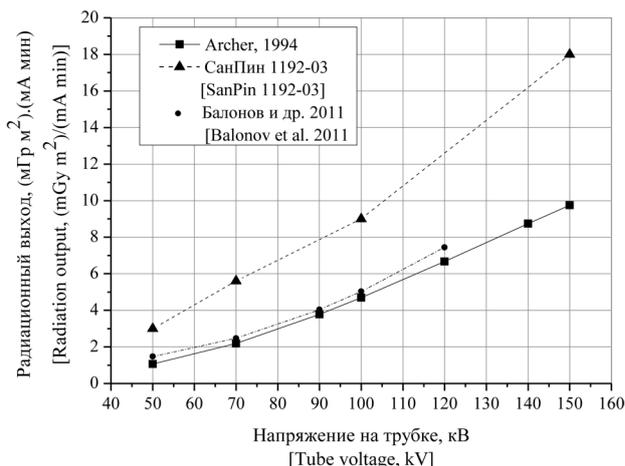


Рис. 2. Зависимость радиационного выхода рентгеновского аппарата с вольфрамовым анодом и фильтром из Al толщиной 3–5 мм от напряжения на трубке

[Fig.2. Dependence of the radiation output of an X-ray apparatus with W anode and Al filter 3–5 mm thick on the tube voltage]

на пациента (пропорционально площади пучка на теле пациента), его локализацией и энергетическим спектром. Все это учитывается в формуле (7), где основным параметром является фракция рассеянного излучения $\alpha(kVp)$, определяемая как отношение доз компонентов рассеянного и прямого излучения, измеренных на расстоянии 1 м от пациента (фантома), и отнесенная к площади 1 см² [6, 11]. Значение $\alpha(kVp)$ в диапазоне напряжений на трубке 50–150 кВ в зависимости от угла рассеяния изменяется от $4 \cdot 10^{-6}$ до $8 \cdot 10^{-6}$. Если попытаться сравнить значения фракций рассеянного компонента по формулам (1) и (7) и взять для этого наиболее вероятное в диагностическом диапазоне напряжений значение $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ и близкую к максимальной площадь поля первичного излучения на теле пациента $F=1000$ см², то тогда их произведение дает значение 0,005, что в 10 раз меньше значения $N = 0,05$, используемого в формуле (1) для рассеянного компонента. И уж совершенно непонятно, из каких соображений при расчете дозы рассеянного компонента в качестве геометрического параметра используется расстояние от фокуса трубки до точки расчета вместо расстояния от пациента до точки расчета (см. рис. 1). Таким образом, использование формулы (1) из СанПиН 2.6.1.1192-03 для расчета рассеянного компонента рентгеновского излучения остается сомнительным.

Напомним, что для ряда рентгеновских аппаратов, согласно их конструктивным особенностям, расчет стационарной защиты кабинета, где проводятся исследования, определяется только рассеянным излучением (компьютерный томограф, ортопантомограф, С-дуга, маммограф). В связи с этим, а также учитывая, что использование в медицине компьютерных томографов, особенно в последнее время, определяет более половины коллективной дозы у населения за счет медицинских источников излучения, рассмотрим более подробно современный подход к расчету стационарной защиты в кабинетах компьютерной томографии.

При обследовании на компьютерном томографе рентгеновская трубка вращается на 360° вокруг тела

пациента. Напряжение на аноде трубки 120–140кВ обуславливает высокий уровень комптоновского рассеянного излучения. Пространственное распределение дозы рассеянного излучения четко определено и воспроизводимо, поскольку положение гантри фиксировано, и рентгеновская трубка движется по одной и той же траектории для каждого сканирования. Конструкция гантри обеспечивает защиту от первичного излучения, а интенсивность рассеяния определяется объемом облучаемой ткани. При исследовании туловища, как правило, наблюдается большая интенсивность рассеянного излучения, чем при сканировании головы, поскольку облучается больший объем ткани.

Значение кермы рассеянного излучения на расстоянии 1 м от изоцентра компьютерного томографа можно определить следующим соотношением [13]:

$$K_S = S_{CT} \cdot DLP, \text{ мГр} \quad (8)$$

где: DLP – произведение дозы на длину сканирования, мГр·см; S_{CT} – коэффициент рассеяния, (мкГр м²)/(мГр см).

Значение DLP , характеризующее поглощенную дозу излучения за КТ-исследование, рассчитывают по формуле:

$$DLP = CTDI_{vol} \cdot L, \text{ мГр·см}, \quad (9)$$

где: $CTDI_{vol}$ – взвешенный компьютерно-томографический индекс дозы; L – длина области сканирования.

Коэффициенты рассеяния различны для условий сканирования двух частей тела пациента – головы и туловища (различные условия коллимации прямого излучения). Их значения, полученные на основе результатов измерений [23], приведены в таблице 1.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, конструкция гантри томографа обеспечивает уровень проходящего сквозь него излучения (первичного и рассеянного) всего лишь около 10% от уровня рассеянного излучения в других направлениях. Все стены кабинета компьютерной томографии должны обеспечивать одинаковый уровень защиты, однако ослабление излучения гантри может быть учтено при расстановке оборудования внутри кабинета, расположении дверей (в «тени» гантри) и т.п.

Как и в случае кабинетов других типов, для проектирования стационарной защиты кабинета компьютерной томографии требуется информация о рабочей нагрузке рентгеновского аппарата, в данном случае в терминах измеряемой величины DLP , отдельно для исследований головы и туловища. Она может быть получена на основе

изучения статистики значений DLP для различных типов исследований и их количества за год (табл. 2).

Таблица 1
Воздушная керма, нормированная на единичное значение DLP на 1 м от изоцентра компьютерного томографа (S_{CT} в уравнении (8)) [23]

[Table 1
Air kerma per unit DLP at 1 m from CT scanner isocentre (S_{CT} in equation (8)) [23]

Область исследования [Field of view]	Сектор компьютерного томографа [Sector of CT scanner]	Коэффициент рассеяния S_{CT} (мкГр м ²)/(мГр см) [Scatter coefficient, (μGy m ²)/(mGy cm)]
Туловище [Trunk]	В направлении движения стола [Front and rear]	0,36
Туловище [Trunk]	В направлении гантри [Gantry]	0,04
Голова [Head]	В направлении движения стола [Front and rear]	0,14
Голова [Head]	В направлении гантри [Gantry]	0,014

Годовой уровень кермы в воздухе от рассеянного излучения на расстоянии d от изоцентра томографа можно рассчитать с помощью уравнения:

$$K_W = \frac{[(S_{CTbody} \cdot DLP_{anbody}) + (S_{CThead} \cdot DLP_{anhead})]}{d^2} \text{ мкГр/год} \quad (10)$$

где: S_{CTbody} и S_{CThead} – коэффициенты рассеяния (мкГр м²)/(мГр см); DLP_{anbody} и DLP_{anhead} – годовые значения рабочих нагрузок компьютерного томографа при сканировании туловища и головы соответственно.

Рассчитаем в качестве примера толщину стены из бетона, необходимую для защиты смежного по горизонтали с кабинетом компьютерной томографии помещения, где постоянно в течение рабочего дня ($T=1$) находятся следующие категории облучаемых лиц:

Лица из населения с ПД = 1 мЗв/год (например, офисные работники).

Персонал группы Б с ПД = 5 мЗв/год.

КТ-исследования проводятся на томографе с напряжением на трубке 120 кВ и типичными годовыми значе-

Таблица 2
Значения DLP за исследование и годовые рабочие нагрузки DLP_{an} [12]

[Table 2
Values for the DLP per examination and annual workloads (DLP_{an}) [12]

Область исследования [Field of view]	DLP за исследование, (мГр см) [DLP per examination, (mGy cm)]	Типичные DLP_{an} за год, (Гр см) [Typical values for annual DLP, (Gy cm)]	DLP_{an} за год для загруженных кабинетов (Гр см) [Annual DLP for busy rooms, (Gy cm)]
Туловище [Trunk]	900	3000	5000
Голова [Head]	900	2500	3500

ниями DLP_{anbody} и DLP_{anhead} (см. табл. 2). Расстояние от центра томографа до точки расчета примем равным 3 м. Рассчитаем годовое значение кермы в воздухе от рассеянного излучения на расстоянии d от изоцентра томографа согласно (10):

$$K_w = \frac{[(S_{CTbody} \cdot DLP_{anbody}) + (S_{CThead} \cdot DLP_{anhead})]}{d^2} = \frac{0.36 \cdot 310^6 + 0.14 \cdot 2.510^6}{3^2} = 160 \text{ мкГр/год}$$

Тогда необходимые значения коэффициентов ослабления для 2 вышеуказанных категорий облучаемых лиц будут следующими:

$$1. K_{1_осл} = \frac{K_w}{ПД} = \frac{160}{1} = 160$$

$$2. K_{2_осл} = \frac{K_w}{ПД} = \frac{160}{5} = 32$$

А толщину защиты из бетона, обеспечивающую заданный уровень ослабления, можно рассчитать, согласно (4), следующим образом:

$$x_1 = \frac{1}{\alpha \cdot \gamma} \cdot \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \beta / \alpha}{1 + \beta / \alpha} \right] = \frac{1}{0,0383 \cdot 0,658} \cdot \ln \left[\frac{(1/160)^{-0,658} + (0,0142 / 0,0383)}{1 + (0,0142 / 0,0383)} \right] = 121 \text{ мм}$$

$$x_2 = \frac{1}{\alpha \cdot \gamma} \cdot \ln \left[\frac{B^{-\gamma} + \beta / \alpha}{1 + \beta / \alpha} \right] = \frac{1}{0,0383 \cdot 0,658} \cdot \ln \left[\frac{(1/32)^{-0,658} + (0,0142 / 0,0383)}{1 + (0,0142 / 0,0383)} \right] = 78 \text{ мм}$$

Значения $\alpha = 0,0383$, $\beta = 0,0142$ и $\gamma = 0,658$ для бетона и рассеянного рентгеновского излучения при напряжении на трубке томографа 120 кВ заимствованы из [1].

Аналогичные значения коэффициентов ослабления для двух категорий облучаемых лиц, рассчитанные согласно СанПиН 2.6.1.1192-03 ($R(120\text{кВ}) = 13 \text{ мГр}\cdot\text{м}^2/(\text{мА}\cdot\text{мин})$; $W = 400 \text{ (мА}\cdot\text{мин)/нед.}$; $N = 0,05$), будут следующими – $K_{1_осл} = 1900$ и $K_{2_осл} = 385$, а толщины защиты из бетона – $x_1 = 185 \text{ мм}$ и $x_2 = 143 \text{ мм}$. Однако, как отмечалось выше, значение $W = 400 \text{ (мА}\cdot\text{мин)/нед.}$, указанное в СанПиН 2.6.1.1192-03, является существенно заниженным и соответствует приблизительно проведению исследований 4 пациентам в неделю. Если же использовать реальное значение $W \sim 7000 \text{ (мА}\cdot\text{мин)/нед.}$ (60–70 пац./нед.), то расчетные значения толщины защиты из бетона увеличатся до $x_1 = 240 \text{ мм}$ и $x_2 = 200 \text{ мм}$.

Заключение

Методология расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов, изложенная в СанПиН 2.6.1.1192-03, устарела и не отражает реальных условий и значений физико-технических параметров проведения медицинских исследований. Алгоритм расчета коэффициента ослабления (раздел 4.1 СанПиН 2.6.1.1192-03) не учитывает особенности ослабления прямого и рассеянного компонентов рентгеновского излучения, которые отличаются областью возникновения, интенсивностью,

энергетическим спектром и другими параметрами. Вместо этого используется единая формула для всех компонентов, а отличия в их ослаблении учитываются параметром N , значения которого для разных компонентов излучения никак не обоснованы и вызывают сомнения. В расчете также не учитывается распределение рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов по напряжению на трубке, существенное ослабление прямого рентгеновского излучения дополнительными конструкциями аппарата, необходимыми для получения изображения. Рекомендуются для проектирования защиты в СанПиН 2.6.1.1192-03 значения радиационного выхода рентгеновских аппаратов в 2–3 раза завышены по отношению к измеряемым значениям на практике. Все это приводит к необоснованному завышению расчетной толщины стационарной защиты в рентгеновских кабинетах и, соответственно, к увеличению расходов на здравоохранение. Учитывая также то обстоятельство, что раздел СанПиН 2.6.1.1192-03, посвященный методике радиационного контроля в рентгеновских кабинетах, также не только устарел, но и содержит ряд неверных положений в отношении интерпретации результатов радиационного контроля при оценке адекватности физической защиты помещения [13], необходима подготовка нового документа взамен СанПиН 2.6.1.1192-03.

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements). Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities. NCRP Report No. 147. NCRP, 2004.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV, Bethesda, MD: NCRP: NCRP Report No. 49; 1976.
3. Kelley J.P., Trout E.D. Broad Beam Attenuation in lead for X-rays from 50 to 300 kVp // Radiology. 1972. Vol. 104 P. 171-175.
4. Braestrup C.B., Wyckoff H.O. Shielding Design Levels for Radiology Departments // Radiology. 1973. Vol. 107. P. 445-448.
5. Trout E.D., Kelley J.P., Herbert G.L. X-Ray Attenuation in Steel from 50 to 300 kVp // Health Physics. 1975. Vol. 29. P. 163-169.
6. Trout E.D., Kelley J.P. Scattered Radiation from a Tissue equivalent phantom for X-rays from 50 to 300 kVp // Radiology. 1972. Vol. 104. P. 161-169.
7. Simpkin D.J. Evaluation of NCRP Report 49 Assumptions on Workloads and Use Factors in Diagnostic Radiology Facilities // Medical Physics. 1996. Vol. 23. P. 577-584.
8. Archer B.R., Fewell T.R., Conway B.J., Quinn P.W. Attenuation Properties of Diagnostic X-Ray Shielding Materials // Medical Physics. 1994. Vol. 21, No 9. P. 1499-1507.
9. Archer B.R., Thornby J.I., Bushong S.C. Diagnostic X-Ray Shielding Design Based on an Empirical Model of Photon Attenuation // Health Physics. 1983. Vol. 44. P. 507-517.
10. Simpkin D.J. Transmission data for shielding diagnostic X-ray facilities // Health Physics. 1995. Vol. 68. P. 704-709.
11. Simpkin D.J., Dixon R.L. Secondary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: Scatter and Leakage Revisited // Health Physics. 1998. Vol. 74. P. 350-365.
12. Martin C.J. Radiation shielding for diagnostic radiology // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 165, No 1–4. P. 376–381. doi:10.1093/rpd/ncv040.

13. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Критический анализ и предложения по совершенствованию существующей системы радиационного контроля в рентгеновских кабинетах. // Радиационная гигиена. 2021. Т.14, № 2. С. 39–47. doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47.
14. Radiation Shielding for Diagnostic Radiology, Second Edition. Editors: Sutton D.G., Martin C.J., Williams J.R. and Peet D.J. British Institute of Radiology, London, UK, 2012. 148 p.
15. Rossi R.P., Ritenour R., Christodoulou E. Broad beam transmission properties of some common shielding materials for use in diagnostic radiology // Health Physics. 1991. Vol. 61. P. 601-608.
16. Chritensen R., Sayeg J.A. Attenuation characteristics of gypsum wallboard // Health Physics. 1979. Vol. 36. P. 595-600.
17. Simpkin D.J. Shielding requirements for mammography // Health Physics. 1987. Vol. 53. P. 267-279.
18. DIN 6812:2021-06: Medical x-ray equipment up to 300 kv – Rules of construction for structural radiation protection. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Germany); DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), Pforzheim (Germany), 2021.
19. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Оценка значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 2. С. 6-10.
20. Dixon R.L. On the primary barrier in diagnostic x-ray shielding // Medical Physics. 1994. Vol. 21. P. 1785-1794.
21. Dixon R.L., Simpkin D.J. Primary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: A New Model // Health Physics. 1998. Vol. 74. P. 181-189.
22. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Кальницкий С.А., Братилова А.А. Риск стохастических эффектов облучения вследствие рентгенографических исследований: зависимость от пола и возраста пациента // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2011. Том 56, № 4. С. 71-79.
23. Wallace H., Martin C J., Sutton D.G. et al. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities // Journal of Radiological Protection. 2012. Vol. 32. P. 39–50.

Поступила: 16.07.2023 г.

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

Для цитирования: Голиков В.Ю. Критический анализ существующего подхода к расчету стационарной защиты в рентгеновских кабинетах // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 13-21. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-13-21

Critical analysis of the existing approach to the calculation of radiation shielding in X-ray rooms

Vladislav Yu. Golikov

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 paper demonstrates the limitations of the existing methodology for calculating the radiation shielding of X-ray rooms presented in SanPiN 2.6.1.1192-03. It is shown that the algorithm for calculating the attenuation coefficient by the barrier does not take into account the features of the attenuation of different components of X-ray radiation: direct, scattered, and leakage radiation, which differ in the region of occurrence, intensity, energy spectrum, and other parameters. Instead, a single formula is used for all components, and the differences in their attenuation are taken into account by a parameter the values of which for different radiation components are in no way justified and are questionable. The calculation also does not take into account the distribution of the workload of X-ray machines by the tube voltage, the significant attenuation of direct X-ray radiation by additional structures necessary for image acquisition. The values of the radiation output of X-ray machines recommended for shielding design in SanPiN 2.6.1.1192-03 are 2–3 times overestimated in relation to the measured values. This leads to an unreasonable overestimation of the requirements for the

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

thickness of radiation shielding in X-ray rooms and accordingly to suboptimal spending on healthcare. It is necessary to develop a new document to replace SanPiN 2.6.1.1192-03.

Key words: radiation shielding barrier, X-ray room, attenuation coefficient, direct radiation, scatter radiation, medical investigations.

Conflict of interests

Author declare the absence of conflict of interest.

References

1. NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements). Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities. NCRP Report No. 147. NCRP, 2004.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV, Bethesda, MD: NCRP: NCRP Report No. 49; 1976.
3. Kelley JP, Trout ED. Broad Beam Attenuation in lead for X-rays from 50 to 300 kVp. *Radiology*. 1972;104:171-175.
4. Braestrup CB, Wyckoff HO. Shielding Design Levels for Radiology Departments. *Radiology*. 1973;107: 445-448.
5. Trout ED, Kelley JP, Herbert GL. X-Ray Attenuation in Steel from 50 to 300 kVp. *Health Physics*. 1975;29: 163-169.
6. Trout ED, Kelley JP. Scattered Radiation from a Tissue equivalent phantom for X-rays from 50 to 300 kVp. *Radiology*. 1972;104: 161-169.
7. Simpkin DJ. Evaluation of NCRP Report 49 Assumptions on Workloads and Use Factors in Diagnostic Radiology Facilities. *Medical Physics*. 1996;23: 577-584.
8. Archer BR, Fewell TR, Conway BJ, Quinn PW. Attenuation Properties of Diagnostic X-Ray Shielding Materials. *Medical Physics*. 1994;21(9): 1499-1507.
9. Archer BR, Thornby JI, Bushong SC. Diagnostic X-Ray Shielding Design Based on an Empirical Model of Photon Attenuation. *Health Physics*. 1983;44: 507-517.
10. Simpkin D.J. Transmission data for shielding diagnostic X-ray facilities. *Health Physics*. 1995;68: 704-709.
11. Simpkin DJ, Dixon RL. Secondary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: Scatter and Leakage Revisited. *Health Physics*. 1998;74: 350-365.
12. Martin CJ. Radiation shielding for diagnostic radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;165(1-4): 376-381. doi:10.1093/rpd/ncv040.
13. Golikov VYu, Vodovatov AV. Critical analysis and suggestions to improve the existing system of radiation control in X-ray rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(2): 39-47. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47.
14. Radiation Shielding for Diagnostic Radiology, Second Edition. Editors: Sutton DG, Martin CJ, Williams JR, Peet DJ. British Institute of Radiology, London, UK; 2012. 148 p.
15. Rossi RP, Ritenour R, Christodoulou E. Broad beam transmission properties of some common shielding materials for use in diagnostic radiology. *Health Physics*. 1991;61: 601-608.
16. Chritensen Rc, Sayeg JA. Attenuation characteristics of gypsum wallboard. *Health Physics*. 1979;36: 595-600.
17. Simpkin DJ. Shielding requirements for mammography. *Health Physics*. 1987;53: 267-279.
18. DIN 6812:2021-06: Medical x-ray equipment up to 300 kv - Rules of construction for structural radiation protection. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Germany); DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), Pforzheim (Germany); 2021.
19. Golikov VYu. Estimation of an X-ray machine's workload during routine radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(2): 6-10. (In Russian).
20. Dixon RL. On the primary barrier in diagnostic x-ray shielding. *Medical Physics*. 1994;21: 1785-1794.
21. Dixon RL, Simpkin DJ. Primary Shielding Barriers for Diagnostic X-ray Facilities: A New Model. *Health Physics*. 1998;74: 181-189.
22. Balonov MI, Golikov VYu, Kalnitsky SA, Bratilova AA. Risk of stochastic effects of exposure due to radiographic investigations: dependence on the sex and age of the patient. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2011;56(4): 71-79. (In Russian).
23. Wallace H, Martin C J, Sutton DG, et al. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities. *Journal of Radiological Protection*. 2012;32: 39-50.

Received: July 16, 2023

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

For citation: Golikov V.Yu. Critical analysis of the existing approach to the calculation of radiation shielding in X-ray rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3, P. 13-21. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-13-21

Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации.

Часть 1: Характеристика населенных пунктов

И.К. Романович¹, А.Б. Базюкин¹, А.Н. Барковский¹, А.М. Библин¹, А.А. Братилова¹, **Г.Я. Брук¹**, К.В. Варфоломеева¹, А.В. Громов¹, Е.А. Дроздова¹, Т.В. Жеско¹, С.А. Иванов¹, М.В. Кадука¹, Т.А. Кормановская¹, О.С. Кравцова¹, В.А. Некрасов¹, В.П. Рамзаев¹, К.А. Сапрыкин¹, Н.В. Титов¹, О.А. Исаков², Е.И. Злотникова², А.Г. Сосницкий², В.И. Филин², А.В. Кудряшов³, А.А. Ладик³, В.А. Лалаян³

- 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 Центр гигиены и эпидемиологии в Брянской области, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Брянск, Россия
- ³ Центр гигиены и эпидемиологии в городе Клинцы Брянской области, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Клинцы, Брянская область, Россия

В статье приводятся результаты радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области, полученные в 2019–2022 гг. в ходе реализации мероприятий «Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС». В первой части статьи дана общая характеристика современного состояния проблемы возвращения жителей радиоактивно загрязненных территорий к условиям нормальной жизнедеятельности и приводятся сведения о населенных пунктах обследованного региона. Рассмотрен современный демографический состав населения, исследована структура личных подсобных хозяйств. На основании результатов, описанных в данной части публикации, выделены основные пути формирования дозы внутреннего облучения населения, актуальные для современного этапа радиационной аварии.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, цезий-137, загрязнение населенных пунктов, население, демография, личные подсобные хозяйства.

Введение

Проблемы ликвидации последствий радиационных аварий, реабилитация пострадавших территорий, возобновление и развитие деятельности предприятий различных секторов экономики, восстановление нормальной жизнедеятельности населения имеют долгосрочный характер. При этом вопрос защиты населения остается приоритетным – радиационные риски для населения не должны превышать уровней, удовлетворяющих условию его безопасной жизнедеятельности.

Вследствие аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в 1986 г. радиоактивному загрязнению подверглись регионы европейской части Советского Союза и ряда европейских стран. Радионуклидный состав аварийного выброса, его продолжительность, особенности циркуляции воздушных масс и метеорологические условия, наряду с прочими факторами, сформировали радиоактивный след, главным образом затронувший территории Украины, Беларуси и России [1–3]. По современным оценкам, на территории России выпало 30% суммарной активности ¹³⁷Cs, Белоруссии – 23%, Украины – 18%

Братилова Анжелика Анатольевна

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: bratilova@gmail.com

[2]. Площадь радиоактивного загрязнения территории России с плотностью ^{137}Cs свыше 37 kBq/m^2 ¹ составила приблизительно 60 тыс. км², Беларуси – 48 тыс. км² [1, 2].

Среди долгоживущих радионуклидов аварийного выброса к наиболее значимым, с точки зрения радиационных рисков для населения, относятся ^{137}Cs и ^{90}Sr . В настоящее время почти 2000 населенных пунктов (НП) 11 субъектов Российской Федерации (РФ), отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие чернобыльской аварии², находятся в границах с плотностью загрязнения ^{137}Cs почвы свыше 37 kBq/m^2 , в 11 НП данная величина превышает 555 kBq/m^2 , а в 1 – $1,48 \text{ MBq/m}^2$ [5]. Средние уровни загрязнения почвы ^{90}Sr в НП территории чернобыльского следа в настоящее время не превышают 37 kBq/m^2 [6].

По современным прогнозным оценкам, к 2056 г. ожидается пятикратное сокращение площадей территорий чернобыльского следа (по отношению к 1986 г.), отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, в основном за счет слабозагрязненных территорий [3]. Из всех субъектов РФ, находящихся в настоящее время в границах загрязнения почв ^{137}Cs свыше 37 kBq/m^2 , останутся только территории 4 областей – Брянской, Калужской Тульской и Орловской. Но только к концу XXI в. загрязнение части территорий Брянской области не будет превышать 555 kBq/m^2 и только к началу XXIII в. – 37 kBq/m^2 [1]. Из этого следует, что реабилитация территорий чернобыльского следа будет оставаться актуальной проблемой еще долгие десятилетия, а условия жизнедеятельности населения необходимо контролировать и сопоставлять с критериями безопасности по радиационному фактору.

В 2019 г. начала действовать программа совместной деятельности государств-участников Союзного государства Российской Федерации и Республики Беларусь в области экологической безопасности, предупреждения техногенных катастроф и преодоления их последствий: «Программа совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС»³ (далее – Программа). Реализация мероприятий Программы [7] нацелена на формирование единого информационного пространства, развитие научно обоснованных критериев реабилитационных мероприятий.

Из субъектов РФ, граничащих с территорией Республики Беларусь, наибольшему загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС подверглась Брянская область. В настоящее время в Брянской области находится около 500 НП в границах радиоактивного загрязнения свыше 37 kBq/m^2 по ^{137}Cs [3]. В наибольшей степени загрязненные НП (в том числе с плотностями загрязнения почвы свыше 555 kBq/m^2) расположены в юго-западной части области. В этой части области также есть и НП, где в настоящее время уровни радиоактивного загрязнения не превышают 37 kBq/m^2 .

В рамках реализации мероприятий Программы в 2019–2022 гг. было проведено радиационно-гигиеническое обследование ряда НП юго-западных районов Брянской области. К основным задачам обследования относились уточнение радиационной ситуации и определение степени радиационного воздействия на население. Для этого изучали возможные пути формирования доз облучения жителей НП, исследовали соответствующие физические и химические параметры объектов окружающей среды, определяли поведенческие предпочтения представителей населения, уточняли сопутствующую информацию. Полученные значения параметров радиационной обстановки сопоставляли с требованиями радиационной безопасности, а дозы облучения жителей – с критерием защиты населения по радиационному фактору.

Цель исследования – изучить современную радиационную обстановку в приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктах Брянской области и оценить текущие эффективные дозы облучения населения; рассмотреть современное состояние проблемы возвращения населения радиоактивно загрязненных территорий к условиям нормальной жизнедеятельности с точки зрения безопасности по радиационному фактору и дать характеристику населенным пунктам в контексте современных путей формирования доз внутреннего облучения жителей.

Материалы и методы

Комплексные радиационно-гигиенические обследования проводились в период 2019–2022 гг. в 266 НП юго-западных территорий Брянской области, граничащих с Республикой Беларусь. Все НП относятся к зонам радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС⁴,

¹ Бк/м² – системная единица измерения радиоактивного загрязнения почвы местности; Ки/км² – внесистемная единица измерения того же параметра [4]. $1 \text{ Ки/км}^2 = 37 \text{ kBq/m}^2$ [The Bq/m² is the system unit of measurement of radioactive contamination of the soil; The Ci/km² is an off-system unit of measurement [4]. $1 \text{ Ci/km}^2 = 37 \text{ kBq/m}^2$ (In Russ.)].

² Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» [Decree of the Council of Ministers of the Russian Federation No. 10, October 08, 2015 “On” (In Russ.)].

³ Постановление Совета министров Союзного государства от 29 августа 2019 г. № 8 «О Программе совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС». [Decree of the Council of Ministers of the Union State No. 8, August 29, 2019 “On the Program of joint activities of Russia and Belarus within the framework of the Union State to protect the population and rehabilitate territories affected by the disaster at the Chernobyl nuclear power plant” (In Russ.)].

⁴ Постановление Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» [Decree of the Council of Ministers of the Russian Federation No. 10, October 08, 2015 “On approval of the list of settlements located within the boundaries of zones of radioactive contamination due to the catastrophe at the Chernobyl NPP.” (In Russ.)].

современные уровни плотности загрязнения ^{137}Cs почвы территорий НП⁵ варьируют от 0,5 до 1,85 МБк/м² (рис. 1), а преобладающая часть НП находится в границах от 1 до 555 кБк/м².

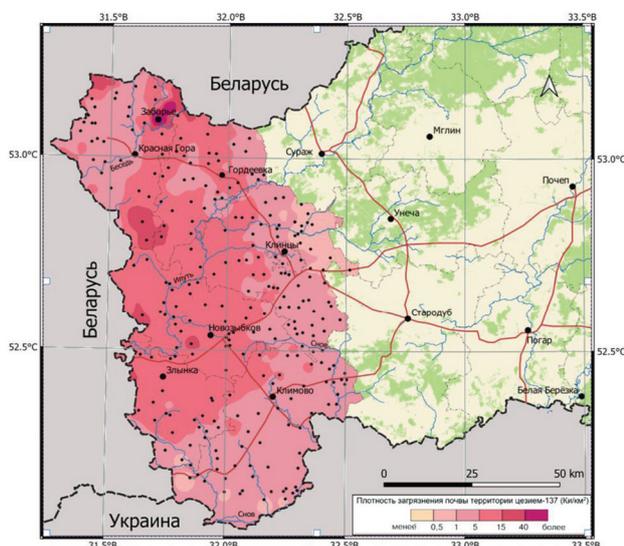


Рис. 1. Загрязнение ^{137}Cs территории обследованных населенных пунктов

[Fig. 1. ^{137}Cs contamination of the territory of surveyed settlements]

По состоянию на 01.01.2021 г. [16] обследованные НП административно принадлежат к 53 сельским и городским муниципальным образованиям (поселениям), входящим в состав 5 муниципальных районов и 2 городских округов Брянской области (табл. 1).

В программу обследований НП входили следующие работы: отбор проб пищевых продуктов из личных подсобных хозяйств (ЛПХ) жителей НП и определение в них удельной активности ^{137}Cs , измерение содержания ^{137}Cs в организме жителей с использованием счетчиков излучения человека (СИЧ), измерение мощностей доз гамма-излучения в локациях НП, проведение выборочного индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения жителей с использованием термолюминесцентных дозиметров, анкетирование жителей НП с целью установления рационов питания и режимов поведения. В рамках проведенных обследований от органов исполнительной власти (администраций НП) были получены данные о демографической структуре населения НП, структуре жилого фонда, площади сельскохозяйственных угодий, поголовье мясомолочных животных и другие данные. По результатам опроса населения получены сведения о структуре ЛПХ. Методы проведения комплексных радиационно-гигиенических обследований НП территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, изложены в методических реко-

Таблица 1

Распределение населенных пунктов Брянской области, граничащих с Республикой Беларусь, по уровням загрязнения почвы ^{137}Cs

[Table 1

Distribution of the settlements by levels of ^{137}Cs soil contamination density]

Административная территория [Administrative territory]	Плотность загрязнения ^{137}Cs территории НП, кБк/м ² [^{137}Cs soil contamination density in settlements, kBq/m ²]				
	< 37	37–185	185–555	555–1480	> 1480
Гордеевский район (7 МО) [Gordeevsky district (7 MD)]	–	13	21	2	–
Городской округ «город Клинцы» (1 МО) [Klintsy urban okrug (1 MD)]	–	3	–	–	–
Злынковский район (6 МО) [Zlynkovsky district (6 MD)]	1	7	17	–	–
Климовский район (6 МО) [Klimovsky district (6 MD)]	4	48	6	–	–
Клинцовский район (9 МО) [Klintsovsky district (9 MD)]	14	43	16	–	–
Красногорский район (7 МО) [Krasnogorsky district (7 MD)]	–	22	8	2	1
Новозыбковский городской округ (9 МО) [Novozybkov urban okrug (9 MD)]	–	4	32	2	–

[†] Количество муниципальных образований, входящих в состав административных территорий [* The number of municipal divisions (MD) included in the municipal district (administrative territory)]

⁵ По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды о средней плотности загрязнения ^{137}Cs почвы территории населенного пункта по состоянию на 01.01.2022 г. [The data on soil contamination density with ^{137}Cs in the settlements are provided by Roshydromet as of 01/01/2022. (In Russ.)]

мендациях^{6,7}. В этих же документах приведены базовые варианты опросных карт населения и представителей администраций НП.

Данные о плотности загрязнения ¹³⁷Cs почвы территории НП были предоставлены Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет).

Обработку и анализ информации данной части исследования проводили с использованием MS Excel. Для построения карты плотности загрязнения ¹³⁷Cs территории районов Брянской области, приграничных с Республикой Беларусь (см. рис. 1), использовали модуль интерполяции методом обратных взвешенных расстояний в ГИС QGIS. Информационной основой для построения карты послужили данные Росгидромета (по состоянию на 01.01.2022 г.).

Результаты и обсуждение

Характеристика радиоактивного загрязнения территорий и демографический состав населения

Приграничные с Республикой Беларусь районы Брянской области расположены в западной части Восточно-Европейской равнины на территории Полесской низменности с многочисленными склонами и пойменными территориями рек и ручьев [1, 8]. Ландшафт как Республики Беларусь, так и Брянской области характеризуется большими площадями заболоченных земель [9].

Почвенный состав юго-западных районов Брянской области на 70% представлен дерново-подзолистыми супесчаными и песчаными почвами [1, 8, 10], которым свойственен низкий естественный запас калия, вследствие чего обеспеченность калием в подвижной форме пахотных, пастбищных и сенокосных земель этих территорий считается низкой [1, 10, 11].

Приведенные особенности имеют значение в понимании процессов пространственной миграции радионуклидов, распределении их в объектах окружающей среды. Данные процессы оказывают непосредственное влияние на биологическую доступность радионуклидов для населения. Так, к примеру, в зависимости от влажности почв степень накопления ¹³⁷Cs грибами одного и того же вида может различаться на порядок [12], увеличение обеспеченности почв калием может существенно снижать переход ¹³⁷Cs в растения [2, 13–15], а перераспределение радионуклидов в весенний паводковый и летний ливневый периоды может в несколько раз изменить плотность радиоактивного загрязнения пойменных участков реки [2], что особенно важно, если такие участки население использует в качестве сенокосных и пастбищных угодий.

Обследованные НП относятся преимущественно к населенным пунктам сельского типа с сельскохозяйствен-

ным направлением хозяйственной деятельности. Но также имеются поселки городского типа, города районного и областного подчинения, общее направление хозяйственной деятельности которых определяется наиболее развитыми в них отраслями экономики. По данным, полученным от органов местного самоуправления, численность жителей НП варьирует от нескольких человек до нескольких десятков тысяч. При этом в 11 из 266 НП, запланированных к обследованию, в настоящее время фактически постоянно проживающих жителей нет. Такие НП, находящиеся в границах радиоактивного загрязнения почвы ¹³⁷Cs от 37 до 185 кБк/м² (4 НП) и от 185 до 555 кБк/м² (7 НП), присутствуют во всех административных территориях, за исключением городского округа «город Клинцы». Численность жителей остальных 255 НП по уровням загрязнения ¹³⁷Cs распределена следующим образом: 5,3 тыс. человек проживает на территориях с загрязнением менее 37 кБк/м²; 116 тыс. человек – на территориях с загрязнением от 37 до 185 кБк/м²; 71 тыс. человек – на территориях с загрязнением от 185 до 555 кБк/м², 3 тыс. человек – на территориях с загрязнением от 555 до 1,48 МБк/м² и менее 20 человек – в НП, где плотность загрязнения почвы превышает 1,48 МБк/м² (табл. 2), т.е. большая часть населения (96%) проживает на территориях в границах загрязнения почвы ¹³⁷Cs от 37 до 555 кБк/м². К относительно крупным НП (далее по тексту – крупные НП), с численностью жителей свыше 10 тыс. человек, относятся города областного подчинения Клинцы и Новозыбков, а также районный центр п. Климово. В селе Заборье Красногогорского района на уровень радиоактивного загрязнения территории наибольший из всех обследованных НП – плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs в настоящее время близка к 1,85 МБк/м².

Доля взрослого населения (в возрасте 18 лет и старше) в среднем составляет 85% от общей численности жителей, а детского, соответственно, – 15%. При этом в малых НП (с общей численностью населения менее 100 чел.) численность детского населения в среднем составляет 11%, в НП с численностью жителей до 10 тыс. чел. – 18%, а в крупных НП – 20%.

Если сопоставить приведенные значения с демографическими данными официальной статистики за последние годы [17, 18], можно отметить, что доля детского населения сельских НП чернобыльских территорий ниже общероссийского показателя. Так, на 01.01.2022 г. общая доля населения РФ в возрасте до 17 лет (включительно) составляла 21%, при этом доля детского городского населения оценивалась как 20%, а сельского – 22% [18].

Диаграмма соотношения взрослого и детского населения в обследованных НП, представленная на рисунке 2, демонстрирует, что в ряде малых НП (в 36 из 121) в настоящее время нет жителей в возрасте младше 18 лет (светло-зеленый цвет маркера на рисунке), из них в 14 НП

⁶ МР 2.6.1.0006-10. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 10 с. [MR 2.6.1.0006-10. Carrying out of the comprehensive expeditionary radiation-hygienic survey of the settlement to assess population exposure doses. Methodical guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor; 2010. 10 p. (In Russ.)]

⁷ МР 2.6.1.0007-10. Оценка доз облучения детей, проживающих на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 27 с. [MR 2.6.1.0007-10. Assessment of exposure doses to children living in areas radioactive contaminated due to the accident on the Chernobyl nuclear power plant. Methodical guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor; 2011. 27 p. (In Russ.)]

Таблица 2

Распределение населенных пунктов по количеству жителей в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения территории ¹³⁷Cs

[Table 2

Distribution of settlements by the number of inhabitants depending on the density of radioactive contamination of the territory with ¹³⁷Cs

Число жителей в одном НП, тыс. чел. [The number of population in a settlement th. persons]	Число населенных пунктов (числитель) и количество жителей (знаменатель) при данной плотности загрязнения ¹³⁷ Cs почвы территории, кБк/м ² [The number of settlements (numerator) and the number of inhabitants (denominator) at a given density of ¹³⁷ Cs contamination of the soil of the territory, kBq/m ²]					Всего
	< 37	37 ÷ 185	185 ÷ 555	555 ÷ 1480	> 1480	
< 0,1	10 0,4 (0,07)*	72 2,3 (0,1)*	38 1,5 (0,09)*	–	1 0,02*	121 4,2 (0,1)*
0,1 ÷ 1	8 2,8 (0,6)*	54 19 (0,9)*	49 17 (0,9)*	5 1,6 (0,5)*	–	116 40 (0,9)*
1 ÷ 10	1 2,1	8 19 (6,4)*	5 13 (5,3)*	1 1,5	–	15 36 (6,4)*
10 ÷ 100	–	2 76 (63)*	1 40	–	–	3 116 (63)*

*Общая численность населения; в скобках указана численность жителей населенного пункта с наибольшим количеством жителей
[*The total (summarized) population; in parentheses is the number of residents of the settlement with the largest number of inhabitants].

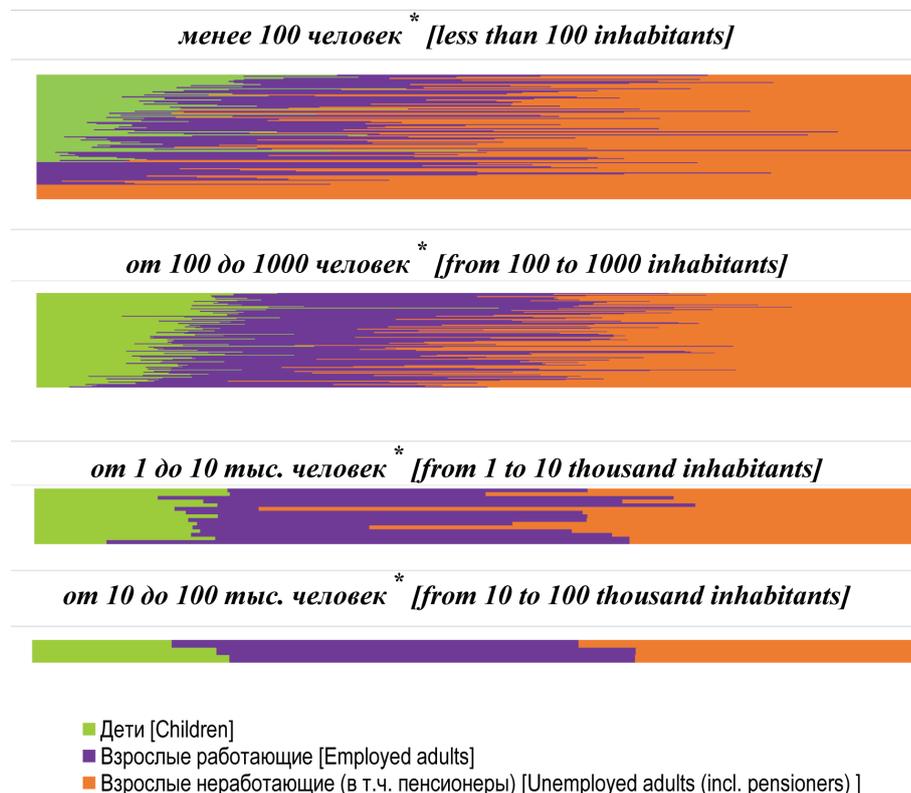


Рис. 2. Социально-демографическая структура населения; * – численность жителей в населенных пунктах
[Fig. 2. The socio-demographic structure of the population * – the population of the settlements]

проживает взрослое население только пенсионного возраста (темно-зеленый цвет маркера), и только в 103 НП есть взрослые жители, занятые экономической деятельностью (желтый цвет маркера). В крупных же НП доля детей составляет в среднем 20% от общей численности населения, а доля пенсионеров среди взрослых жителей не превышает 45%.

Во всех НП жители (все или только их часть) имеют ЛПХ. В НП с численностью населения до 10 тыс. чел. (пре-

имущественно сельского типа) доля домов с приусадебным хозяйством составляет от 38 до 100% (медианное значение – 98%), в крупных НП ЛПХ имеют от 33 до 60% жителей. Пахотные территории приусадебных участков отведены, в основном, под посев сельскохозяйственных растений, придомовые территории – под постройки для сельскохозяйственных животных и прочие хозяйственные нужды. Часть населения держит пасеки, расположенные, как правило, в ближайших окрестностях НП.

Продовольственную продукцию население производит в собственных хозяйствах, приобретает у местных сельскохозяйственных предприятий и на продовольственных рынках, закупает в торговой сети. Часть населения собирает и заготавливает впрок продовольственную продукцию местного природного происхождения.

Сопоставление сведений, характеризующих современный образ жизни населения, проживающего на территориях, пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС, и сведений, полученных в исследованиях рационов питания населения в доаварийный и начальный периоды аварии [19], позволяют сделать вывод о том, что бытовая (хозяйственная) деятельность населения за последние четыре десятилетия существенно не изменилась (либо вернулась в прежнее русло) и источники поступления пищевых продуктов в рацион питания населения остались прежними, а именно – местная сельскохозяйственная продукция собственного и стороннего производства, а также продовольственные продукты природного происхождения, что характерно для уклада жизни большей части населения РФ.

Структура личных подсобных хозяйств населения

В исследовании особое внимание уделялось видам и объемам сельскохозяйственной продукции, производимой населением в ЛПХ. Результаты опросов жителей показали, что виды овощной и плодово-ягодной продукции, производимой в ЛПХ, традиционны для центральной части России. Из овощных культур выращивают картофель, свеклу, морковь, капусту (в основном белокочанную), репчатый лук, чеснок, томаты, огурцы, перец сладкий, кабачки, тыкву, а также столовую зелень, из плодово-ягодных культур – клубнику садовую, все виды смородины, вишню, малину, яблоки, груши, сливы, жимолость, виноград, абрикосы. Объемы снимаемого урожая незначительно варьируют год от года и для наиболее типичных сельскохозяйственных культур в среднем за год составляют: примерно по 30 кг свеклы, моркови и репчатого лука, по 40–50 кг капусты, огурцов и томатов, 4 кг кабачков и патиссонов, 2 кг чеснока, 2–3 кг стручкового (овощного) перца, 5 кг столовой зелени в год (по результатам опросов жителей 495 хозяйств в период 2019–2020 гг.). В больших объемах культивируют картофель. По результатам исследования около 1300 хозяйств (в период 2019–2022 гг.), в среднем годовой урожай картофеля, предназначенного для употребления в пищу, оценен в 250 кг на одно хозяйство, что составляет не менее 50% от общего объема урожая.

Традиционно для центральной части России животноводство в ЛПХ связано с разведением сельскохозяйственной птицы и мясомолочного скота. Мясной и молочный скот представлен следующими видами: коровы, козы, свиньи, кролики, овцы. Видовые представители домашней сельскохозяйственной птицы – курицы, гуси, утки, индейки.

Согласно результатам опросов представителей 1326 домохозяйств с выделением хозяйств, имеющих поголовье скота соответствующего вида, поголовье молочного и мясного крупного рогатого скота на одно хозяйство варьирует от 1 до 3 голов, мелкого (козы, овцы) – от 1 до 30, свиней – от 1 до 10, куриц – от 2 до 200, уток – от 2 до 70. При этом только в 8% всех хозяйств держат крупный рога-

тый скот и в 5% – мелкий. В каждом третьем дворе держат свиней (34% от всех хозяйств).

Иная ситуация наблюдается в отношении домашней птицы: в 2 из 3 домохозяйств держат кур-несушек, а также птицу мясных пород (66% от всех хозяйств).

Жители 122 из 255 обследованных сельских НП держат пасеки с пчелиными семьями. В среднем на 10 хозяйств приходится по 2–3 семьи медоносных пчел.

Полученные в исследовании данные сопоставимы с информацией органов государственной статистики. Расхождение данных исследования со статистическими средними показателями по РФ за 2021 г. [20] по структуре урожайности овощных культур, а также по структуре поголовья мясомолочного скота не превышает 6%. Но, в отличие от хозяйств РФ в целом, в ЛПХ юго-западных территорий Брянской области больше насчитывается свиней и меньше – овец. Сопоставление данных исследования с результатами сельскохозяйственной переписи 2021 г. по Брянской области [21] показывает хорошую сходимость в оценке данных по структуре овощных и плодово-ягодных культур и приемлемую сходимость в оценке численности сельскохозяйственных животных в пересчете на одно хозяйство. Так, в среднем по РФ на одно хозяйство с поголовьем скота соответствующего вида по данным переписи [21, с. 15] приходится 3 коровы (по данным нашего исследования – 1 корова), 3 свиньи (по данным нашего исследования – 2), 25 голов птицы (по данным нашего исследования – 22).

Исследования структуры ЛПХ жителей НП радиоактивно загрязненных территорий, проводимые в Республике Беларусь, показывают сходные результаты: не менее 60% сельского населения разводит домашнюю птицу, но не более 25% жителей держат мясомолочный скот [22, 23]. Интересную тенденцию в развитии ЛПХ отметили авторы исследования производства мясомолочной продукции сельских НП Гомельской области, а именно – увеличение объемов производства в ЛПХ козьего молока [24]. В наших исследованиях такая тенденция не прослеживается, а по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Брянской области, за последние 12 лет поголовье коз и овец в хозяйствах населения сократилось на 7% [25]. Как в ЛПХ жителей НП Брянской области России, так и в ЛПХ жителей НП Беларуси объем производства продукции растениеводства превалирует над объемом производства продукции животноводства [26, 27].

Для повышения плодородия почвы население применяет органические и минеральные удобрения. Вид удобрений, их объем и периодичность использования определяются устоявшимися традициями, доступностью и потребностью в восстановлении либо в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. В сельских НП в основном используют органические удобрения.

Выпас крупного рогатого скота и заготовку сена жители обследованных НП чаще проводят собственными силами. Часть населения сено закупает. В корм скоту ферроцинсодержащие препараты не добавляют. Минеральные добавки для подкормки домашнего скота и птицы используют 23% опрошенных владельцев 120 хозяйств.

Подобная ситуация наблюдается и в Беларуси. Вскармливание мясомолочных сельскохозяйственных

животных в летний период население проводит на пастбищных угодьях, в зимний период – сеном, корнеплодами и мучными концентратами местного производства [26]; комбикорма промышленного производства использует только часть населения.

Современные пути формирования доз внутреннего облучения населения

Результаты изучения специфики территории в отношении ее водных, почвенных, ландшафтных и климатических характеристик и особенностей миграции радионуклидов в природных средах показали, что к основным объектам депонирования радионуклидов в отдаленный период аварии относятся лесные массивы, заболоченные участки местности, а также пойменные земли речных систем [1, 2, 11]. Принимая во внимание, что площадь таких участков на исследуемой территории довольно велика, можно сделать вывод, что использование населением природных ресурсов для хозяйственных нужд определенно является фактором радиационного риска [28].

Результаты исследования структуры ЛПХ и особенностей ведения хозяйства позволяют предположить, что основным источником поступления радионуклидов в организм жителей с сельскохозяйственными пищевыми продуктами может оставаться мясомолочная продукция, хотя доля мясомолочного скота в хозяйствах населения за последние годы и сократилась. Однако использование в качестве корма растительности с критичных земель, с точки зрения накопления или перераспределения радионуклидов, может привести к увеличению их концентрации в животноводческой продукции, производимой в НП, где средняя плотность радиоактивного загрязнения относительно невелика. Учитывая низкое содержание в почве калия и нерегулярное использование населением калийных удобрений, можно ожидать повышенное содержание радионуклидов как в овощной продукции, так и в продукции животного происхождения. Дополнительным источником поступления радионуклидов в организм жителей загрязненных территорий может быть мед с местных пасек, в том числе вследствие того, что жители нередко располагают пасеки в лесных массивах и на примыкающих к ним лугах.

Результаты исследований последних лет [8, 9, 11] показывают, что содержание техногенных радионуклидов чернобыльского происхождения (^{137}Cs и ^{90}Sr) в воде из централизованных и нецентрализованных источников питьевого водоснабжения населения существенно ниже уровней вмешательства, определенных для данных радионуклидов Приложением 2а к НРБ-99/2009, поэтому вклад данных радионуклидов в дозу внутреннего облучения местных жителей при поступлении с питьевой водой невелик [29].

Современный анализ структуры доз внутреннего облучения населения сельских НП радиоактивно загрязненных территорий Республики Беларусь, обусловленных поступлением техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в организм жителей пероральным и ингаляционным путями [30, 31], показывает, что вклад ингаляционной составляющей в формирование дозы внутреннего облучения незначителен (до 7% от значения ожидаемой дозы от поступления этих радионуклидов в организм жителей за год) и не превышает 0,04 мЗв/год. При этом вклад ^{137}Cs

в ингаляционную составляющую ожидаемой дозы внутреннего облучения от этих радионуклидов не превышает 0,2% [31]. Если учесть, что на территории Брянской области проблема присутствия ^{241}Am в объектах окружающей среды не будет приоритетной и через 60 лет после аварии [1], а вклад ингаляционной составляющей дозы внутреннего облучения за счет поступления ^{137}Cs в организм жителей с вдыхаемым воздухом существенно ниже вклада пероральной составляющей дозы, можно отметить, что поступление ^{137}Cs в организм жителей с пищевыми продуктами имеет определяющее значение в формировании дозы внутреннего облучения населения территорий чернобыльского следа.

В системе радиационной защиты населения большое значение имеет специфика формирования доз облучения применительно к конкретной ситуации радиоактивного загрязнения территории [23, 32–35]. Формирование дозы внутреннего облучения населения, как на ранней стадии, так и в отдаленный период после аварии на ЧАЭС происходит в основном за счет потребления пищевых продуктов местного происхождения. В первые годы после аварии на территории чернобыльского следа в отношении потребления населением местных пищевых продуктов действовали ограничительные меры, существенно снизившие уровни радиационного воздействия [36]. Однако в настоящее время поступление долгоживущих радионуклидов в организм жителей с пищевыми продуктами местного происхождения является фактором повышенного риска для их здоровья, а источником такого риска на современном этапе радиационной аварии являются природные ресурсы радиоактивно загрязненной территории, используемые населением в хозяйственных целях.

Заключение

В данной части публикации приведена общая характеристика обследованных в 2019–2022 гг. населенных пунктов, приводятся результаты изучения современного демографического состава населения, результаты исследований структуры ЛПХ и изучения особенностей ведения населением хозяйственной деятельности, выделены основные пути формирования дозы внутреннего облучения населения на современном этапе радиационной аварии.

В настоящее время население исследуемой территории (около 200 000 человек) проживает в границах радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs от 0,6 до 1,85 МБк/м², при этом большая часть жителей (96%) – на территориях с уровнем радиоактивного загрязнения от 37 до 555 кБк/м². Большинство обследованных территорий относятся к населенным пунктам сельского типа с численностью жителей до 10 000 человек, и только в 3 населенных пунктах численность жителей превышает это значение.

Исследование структуры ЛПХ показало, что большая часть производимых в них пищевых продуктов относится к продукции растениеводства (картофель и прочие овощные культуры). Из сельскохозяйственных животных жители в основном держат птицу мясных и мясо-яичных пород, свиней. Только в 8% исследованных хозяйств держат крупный мясомолочный скот, а в 5% – мелкий. Кормом сельскохозяйственных животных население обеспечивает собственными силами.

Хозяйственная деятельность жителей НП как сельского, так и городского типа сопряжена с использованием природных ресурсов территории. В основном эта деятельность связана со сбором и заготовкой лесных грибов и ягод, с ловом рыбы местных водоемов, с охотничьим промыслом. Часть населения собирает и заготавливает дикорастущие лекарственные и пряные растения.

В настоящий период времени поступление техногенных радионуклидов в организм жителей с питьевой водой, а также с вдыхаемым воздухом вносит пренебрежимо малый вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения исследуемой территории. Формирование дозы внутреннего облучения жителей обследованных территорий определяется потреблением пищевых продуктов местного происхождения.

Природная специфика территории, особенности ведения населения хозяйственной деятельности, а также результаты исследований радиационных показателей пищевых продуктов, питьевой воды, объектов окружающей среды, проведенных за годы, прошедшие после чернобыльской аварии, позволяют заключить, что определяющим фактором радиационного риска для здоровья населения остается использование природных ресурсов радиоактивно загрязненной территории.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Романович И.К. – общее и научное руководство проектом, разработка концепции изложения материалов исследования, содержательное редактирование текста статьи.

Базюкин А.Б. – поиск и анализ литературных источников данных, сбор и систематизация материалов исследования, содержательное редактирование текста статьи.

Барковский А.Н. – дизайн проекта, координация работ по проекту.

Библин А.М. – систематизация данных, картографическое представление радиоактивного загрязнения территории Брянской области.

Братилова А.А. – координация работы участников проекта, организация экспедиционных работ, сбор и систематизация данных, поиск литературных источников, обработка полученных результатов.

Брук Г.Я. – разработка концепции, определение цели и формулирование задач исследования, дизайн проекта, координация работы участников проекта, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов исследования.

Варфоломеева К.В. – анкетирование населения, обработка и систематизация первичных материалов исследования, редактирование текста статьи.

Громов А.В. – проведение СИЧ-измерений, систематизация первичных данных исследования.

Дроздова Е.А. – анкетирование населения, обработка и систематизация первичных материалов исследования.

Жеско Т.В. – анкетирование населения, обработка и систематизация первичных материалов исследования.

Иванов С.А. – проведение СИЧ-измерений, систематизация первичных данных исследования.

Кадука М.В. – дизайн опросных карт для населения, анкетирование населения, обработка и систематизация первичных материалов исследования, поиск литера-

турных данных, содержательное редактирование текста статьи.

Кормановская Т.А. – анкетирование населения, обработка и систематизация первичных материалов исследования.

Кравцова О.С. – дизайн опросных карт, поиск и анализ литературных источников информации, анкетирование населения, обобщение, систематизация и обработка материалов исследования, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов исследования, написание текста статьи.

Некрасов В.А. – проведение СИЧ-измерений, систематизация первичных данных исследования.

Рамзаев В.П. – выполнение гамма-спектрометрических измерений на местности, обработка и систематизация данных, интерпретация результатов.

Сапрыкин К.А. – проведение СИЧ-измерений, систематизация первичных данных исследования.

Титов Н.В. – измерения мощности дозы гамма-излучения в локациях, систематизация первичных данных исследования.

Исаков О.А. – организация и координация выполнения работ по проекту на территории Брянской области.

Злотникова Е.И. – организация и координация работ по определению удельной активности радионуклидов в пищевых продуктах.

Сосницкий А.Г. – организация и координация работ по проведению индивидуального дозиметрического контроля внешнего облучения населения.

Филин В.И. – организация и координация выполнения работ по проекту на территории Брянской области.

Кудряшов А.В. – организация работ по проекту на территории административных районов Брянской области, координация работы с представителями администраций населенных пунктов.

Ладик А.А. – организация работ по проекту на территории административных районов Брянской области, координация работы с представителями администраций населенных пунктов, сбор и систематизация первичных материалов исследования.

Лалаян В.А. – организация работ по проекту на территории административных районов Брянской области, координация работы с представителями администраций населенных пунктов, сбор и систематизация первичных материалов исследования.

Благодарности

Авторы выражают благодарность и признательность за содействие в работе В.А. Яковлеву и О.С. Баженовой (являлись сотрудниками Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева в период проведения исследований), а также рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование выполнено в рамках работ по государственному контракту от 18.10.2019 г. № 0173100001419000019 с Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Литература

- Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь). Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. Москва-Минск: Фонд «Инфосфера». НИА-Природа, Белкартография, 2009. 140 с.
- Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий. Под ред. Н.И. Санжаровой и С.В.Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с.
- Российский национальный доклад: 35 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986-2016. Под общ. ред. Л.А. Большова. М., 2021. 104 с.
- Международная система единиц. М.: Росстандарт, 2019. 100 с.
- Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств. Под ред. В.М. Шершакова и др. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», Росгидромет, 2022. 342 с.
- Данные по радиоактивному загрязнению территории населённых пунктов Российской Федерации цезием – 137, стронцием – 90 и плутонием – 239+240. Под ред. С.М. Вакуловского. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2022. 233 с.
- Программа совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. URL: <https://rusbelmeteo.ru/programs/chernobylunionprogram/> (Дата обращения: 22.04.2022).
- Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2018 г. Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2019. 266 с.
- Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2019 г. Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2020. 276 с.
- Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2020 г. Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2021. 253 с.
- Спиридонов С.И., Иванов В.В., Титов И.Е., Нуштаева В.Э.. Радиоэкологическая оценка кормовых сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области на основе комплекса статистических моделей // Радиация и риск. 2021. Т. 30, №2. С. 38–49.
- Панов А.В., Марочкина Е.В., Пономаренко В.В. О роли грибов в формировании доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 1. С. 63–70.
- Орлов П.П., Аканова Н.И. Оценка периодов полувыведения ^{137}Cs почв Брянской области, загрязненных чернобыльскими выпадениями // Радиоэкологические последствия радиационных аварий – к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. С. 108–110.
- Ситнов Д.М., Харкевич Л.П., Адамко В.Н. Выращивание бобово-злаковых трав на радиоактивно загрязненных пахотных землях // Радиоэкологические последствия радиационных аварий – к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2021. С. 372–375.
- Фесенко С.В., Прудников П.В., Емлютина Е.С. и др. Динамика содержания ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции Брянской области после аварии на ЧАЭС: зерно, картофель и овощи // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, №4. С. 45-57. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-45-57.
- ОКТМО 15 000 000 – Муниципальные образования Брянской области. URL: classificators.ru/oktmo/15000000000 (Дата обращения: 18.07.2023).
- Российский статистический ежегодник. 2021: Статистический сборник. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2021. 692 с.
- Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2022 года: Статистический бюллетень. М.: Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2022.
- Травникова И.Г. Динамика изменений рационов питания населения Брянской области, живущего на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 3. С. 26–32.
- Российский статистический ежегодник. 2022: Статистический сборник. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2022. 691 с.
- Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года. Статистический сборник. М.: ИИЦ «Статистика России», 2022. 420 с.
- Зайцев В.В. Концепция стратегии устойчивого развития территории Чемерисского сельского совета Брагинского района Гомельской области. Минск, 2016.
- Никалаенка Е.В. Обоснование подходов оценки модели репрезентативного лица для радиационной защиты населения вокруг Белорусской АЭС // Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов. Минск: РНМБ, 2017. С. 40–44.
- Карпенко А.Ф., Царенок А.А. Производство продукции животноводства в личных подсобных хозяйствах на территории радиоактивного загрязнения // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2020. Т. 23, № 2. С. 170–176.
- Брянская область в цифрах.2023: Краткий статистический сборник. Под ред. Клорштейн В.Э. и др. Брянск: Брянскстат, 2023. 196 с.
- Федеральная служба государственной статистики. Производство продукции животноводства на душу населения в РФ 2021. URL: www.rosstat.gov.ru (Дата обращения: 22.04.2022).
- Шавель А.Н. Экономическая география Беларуси. Минск: Белорусский государственный университет, 2022.
- Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. и др. Оценка годовой эффективной дозы внешнего облучения в лесах юго-западных районов Брянской области России: 2015-2021 гг. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 58-71. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71.
- Кадука М.В., Гончарова Ю.Н., Шутов В.Н., Шилова К.В. Дозы внутреннего облучения Юго-Западных районов Брянской области за счет потребления пищевых продуктов и питьевой воды в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Российско-Белорусско-Украинское пограничье: провинция как социокультурный феномен: Материалы международной научно-практической конференции. Под ред. В.Н. Пустовойтовой, С.Н. Стародубец, А.В. Шлома. Новозыбков: РИО БГУ, 2009. С. 411–415.
- Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А., и др. Оценка современных уровней ^{241}Am и ^{137}Cs в почве, продуктах питания, доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, прилегающих к зоне отселения Чернобыльской АЭС (на примере Брагинского района Гомельской области Беларуси) // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 25–37. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37.
- Нилова Е.К., Бортновский В.Н., Тагай С.А. и др. ^{241}Am и ^{137}Cs на территории Хойникского района Беларуси: оценка радиоэкологической обстановки на современном этапе ситуации существующего облучения //

- Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 17-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-17-30.
32. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Oxford: Pergamon Press, 1977. Vol. 1, No 3.
33. International Commission on Radiological Protection, Sowby F.D. Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population. ICRP Publication 43. Oxford: Pergamon Press, 1977.
34. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146 // Annals of the ICRP. 2020. Vol. 49, No. 4.
35. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 2. С. 72–96.
36. Российский национальный доклад: 30 лет чернобыльской аварии: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986-2016ю Под общ. ред. В.А. Пучкова и Л.А. Большова. М., 2016.

Поступила: 20.07.2023 г.

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

Базюкин Анатолий Борисович – кандидат биологических наук, ведущий 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

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

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, Санкт-Петербург, Россия

Братилова Анжелика Анатольевна – заведующая лабораторией 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. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: bratilova@gmail.com

Брук Геннадий Янкелевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией 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

Варфоломеева Ксения Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории экологии 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

Громов Алексей Валерьевич – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией аварийного реагирования 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

Дроздова Елена 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

Жеско Татьяна Викторовна – кандидат биологических наук, старший 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

Иванов Сергей Анатольевич – младший научный сотрудник радиохимической лаборатории 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

Кадука Марина Валерьевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая радиохимической лабораторией 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

Кравцова Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, ведущий 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

Некрасов Владислав Аркадьевич – младший 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, Санкт-Петербург, Россия

Рамзаев Валерий Павлович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

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

Титов Николай Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Исаков Олег Анатольевич – главный врач Центра гигиены и эпидемиологии в Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Брянск, Россия

Злотникова Евгения Ивановна – врач по санитарно-гигиеническим лабораторным исследованиям радиологической лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Брянск, Россия

Сосницкий Алексей Геннадьевич – эксперт-физик лаборатории ионизирующих и неионизирующих излучений и физических факторов Центра гигиены и эпидемиологии в Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Брянск, Россия

Филин Виктор Иванович – заместитель главного врача по санитарно-эпидемиологическим вопросам Центра гигиены и эпидемиологии в Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Брянск, Россия

Кудряшов Александр Валентинович – главный врач филиала Центра гигиены и эпидемиологии в городе Клинцы Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Клинцы, Брянская область, Россия

Ладик Андрей Александрович – эксперт-физик по контролю за источниками ионизирующих и неионизирующих излучений филиала Центра гигиены и эпидемиологии в городе Клинцы Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Клинцы, Брянская область, Россия

Лалаян Варган Альбертович – заместитель главного врача по санитарно-эпидемиологическим вопросам филиала Центра гигиены и эпидемиологии в городе Клинцы Брянской области Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Клинцы, Брянская область, Россия

Для цитирования: Романович И.К., Базюкин А.Б., Барковский А.Н., Библин А.М., Братилова А.А., Брук Г.Я., Варфоломеева К.В., Громов А.В., Дроздова Е.А., Жеско Т.В., Иванов С.А., Кадука М.В., Кормановская Т.А., Кравцова О.С., Некрасов В.А., Рамзаев В.П., Сапрыкин К.А., Титов Н.В., Исаков О.А., Злотникова Е.И., Сосницкий А.Г., Филин В.И., Кудряшов А.В., Ладик А.А., Лалаян В.А. Результаты современных радиационно-гигиенических обследований приграничных с Республикой Беларусь населенных пунктов Брянской области Российской Федерации. Часть 1: Характеристика населенных пунктов // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 22-36. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36

Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 1: Characteristics of the settlements

Ivan K. Romanovich¹, Anatoly B. Bazyukin¹, Anatoly N. Barkovsky¹, Artem M. Biblin¹, Anzhelika A. Bratilova¹, Gennadiy Ya. Bruk¹, Kseniya V. Varfolomeeva¹, Aleksey V. Gromov¹, Elena A. Drozdova¹, Tatyana V. Zhesko¹, Sergey A. Ivanov¹, Marina V. Kaduka¹, Tatyana A. Kormanovskaya¹, Olga S. Kravtsova¹, Vladislav A. Nekrasov¹, Valery P. Ramzaev¹, Kirill A. Saprykin¹, Nikolay V. Titov¹, Oleg A. Isakov², Evgeniya I. Zlotnikova², Aleksey G. Sosnitskiy², Viktor I. Filin², Aleksandr V. Kudryashov³, Andrey A. Ladik³, Vartan A. Lalayan³

¹Saint-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

²Center of Hygiene and Epidemiology in the Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bryansk, Russia

³Center of Hygiene and Epidemiology in Klinty city, Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Klinty, the Bryansk region, Russia

This study presents results of radiation-hygienic surveys of the Bryansk Oblast settlements bordering the Republic of Belarus. The data were obtained in the course of implementation of measures of the "Program of joint activities of Russia and Belarus within the framework of the Union State for the protection of the population and rehabilitation of the territories affected by the Chernobyl NPP accident" in 2019–2022. The first part of the study presents a general characteristic of the current state of the problem of returning the residents of radioactively contaminated territories to normal living conditions and provides information on the settlements of the surveyed region. The modern demographic composition of the population is considered; the structure of private subsidiary plots is investigated. The results described in this part of the study indicate the main ways, which are relevant for the formation of the internal exposure dose of the public at the current stage of the radiation accident.

Key words: Chernobyl NPP accident, cesium-137, contamination of settlements, population, demography, personal subsidiary plots.

Information about personal contribution of the authors

Romanovich I.K. – general and scientific management of the project, development of the concept of presentation of research materials, substantive editing of the text of the article.

Bazyukin A.B. – search and analysis of literary data sources, collection and systematization of research materials, substantive editing of the text of the article.

Barkovsky A.N. – project design, coordination of project activities.

Biblin A.M. – data systematization, cartographic representation of radioactive contamination of the territory of Bryansk region

Bratilova A.A. – coordination of work of the project participants, organization of expedition works, collection and systematization of data, search of literature sources, processing of the obtained results.

Bruk G.Ya. – concept development, definition of the goal and formulation of the research objectives, project design, coordination of the work of the project participants, carrying out calculations, analysis and interpretation of the research results.

Varfolomeeva K.V. – surveying the population, processing and systematization of primary research materials, editing the text of the article.

Gromov A.V. – conducting WBC measurements, systematization of primary research data.

Drozdova E.A. – population survey, processing and systematization of primary research materials.

Zhesko T.V. – population survey, processing and systematization of primary research materials.

Ivanov S.A. – WBC measurements, systematization of primary research data.

Kaduka M.V. – design of questionnaire cards for the population, surveying the population, processing and systematization of primary research materials, literature search, substantive editing of the text of the article.

Kormanovskaya T.A. – surveying the population, processing and systematization of primary research materials.

Kravtsova O.S. – design of survey cards, search and analysis of literary sources of information, surveying the population, generalization, systematization and processing of research materials, carrying out calculations, analysis and interpretation of research results, writing the text of the article.

Nekrasov V.A. – conducting WBC measurements, systematization of primary research data.

Ramzaev V.P. – gamma-spectrometric measurements in the field, data processing and systematization, interpretation of results.

Anzhelika A. Bratilova

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

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

Saprykin K.A. – carrying out WBC measurements, systematization of primary research data.

Titov N.V. – measurements of gamma radiation dose rate in locations, systematization of primary research data.

Isakov O.A. – Organization and coordination of the project activities on the territory of Bryansk region.

Zlotnikova E.I. – organization and coordination of works on determination of specific activity of radionuclides in food products.

Sosnitsky A.G. – organization and coordination of works on individual dosimetric control of external exposure of population.

Filin V.I. – organization and coordination of the project activities on the territory of Bryansk region.

Kudryashov A.V. – organization of the project activities in the administrative districts of Bryansk Oblast, coordination of work with the representatives of the administrations of the settlements.

Ladik A.A. – organization of project activities in the administrative districts of Bryansk Oblast, coordination of work with representatives of local administrations, collection and systematization of primary research materials.

Lalayan V.A. – organization of project activities in the administrative districts of Bryansk Oblast, coordination of work with representatives of localities administrations, collection and systematization of primary research materials.

Acknowledgements

The authors express their gratitude and appreciation for assistance in the work to V.A. Yakovlev and O.S. Bazhenova (who were employees of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. P.V. Ramzaev during the period of the study), as well as to the reviewers for constructive comments and recommendations.

Information on conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Information about the source of funding

The study was performed within the framework of the work under the state contract No. 0173100001419000019 dated 18.10.2019 with the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing.

References

1. Atlas of modern and forecast aspects of the Chernobyl NPP accident consequences in the affected territories of Russia and Belarus (ASPA Russia-Belarus). Ed. by YuA Izrael, IM Bogdevich. Moscow-Minsk: Infosphere Foundation - NIA-Priroda, Belkartography; 2009. 140 p. (In Russian).
2. Radioecological consequences of the Chernobyl NPP accident: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated territories. Ed. by NI Sanzharova and SV Fesenko. MOSCOW: RAS; 2018. 278 p. (In Russian).
3. Russian national report: 35 years of the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia. 1986-2016. Under the general editorship of LA Bolshov. Moscow; 2021. 104 p. (In Russian).
4. International system of units. Moscow: Rosstandart; 2019. 100 p. (In Russian).
5. Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries. Ed. by VM Shershakov et al. Obninsk: FGBU "NPO "Typhoon", Roshydromet; 2022. 342 p. (In Russian).
6. Data on radioactive contamination of the territory of populated areas of the Russian Federation with cesium-137, strontium-90 and plutonium-239+240. Ed. by SM Vakulovskiy. Obninsk: FGBU "NPO "Typhoon"; 2022. 233 p. (In Russian).
7. Program of joint activities of Russia and Belarus within the framework of the Union State on protection of the population and rehabilitation of the territories affected by the Chernobyl NPP catastrophe. Available from: <https://rusbelmeteo.ru/programs/chernobylunionprogram/> (Accessed: 22.04.2022). (In Russian).
8. Natural resources and environment of Bryansk region: Annual report on the environmental situation in Bryansk region in 2018 Bryansk: Department of natural resources and ecology of Bryansk region; 2019. 266 p. (In Russian).
9. Natural Resources and Environment of the Bryansk Oblast: Annual Report on the Environmental Situation in the Bryansk Oblast in 2019 Bryansk: Department of Natural Resources and Environment of the Bryansk Oblast; 2020. 276 p. (In Russian).
10. Natural resources and environment of the Bryansk Oblast: Annual report on the environmental situation in the Bryansk Oblast in 2020. Bryansk: Department of Natural Resources and Ecology of the Bryansk Region; 2021. 253 p. (In Russian).
11. Spiridonov SI, Ivanov VV, Titov IE, Nushtaeva VE. Radioecological assessment of fodder agricultural lands of the south-western districts of the Bryansk region based on a set of statistical models. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2021;30(2): 38-49. (In Russian).
12. Panov AV, Marochkina EV, Ponomarenko VV. On the role of mushrooms in the internal dose formation to the population in the Chernobyl NPP accident affected areas. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(1):63-70. (In Russian).
13. Orlov PP, Akanova NI. Estimation of ¹³⁷Cs half-lives of Bryansk region soils contaminated by Chernobyl fallout. Radioecological consequences of radiation accidents - to the 35th anniversary of the Chernobyl accident: Collection of reports of the international scientific and practical conference. Obninsk: FGBNU VNIIRAE; 2021. P. 108-110. (In Russian).
14. Sitnov DM, Kharkevich LP, Adamko VN. Cultivation of legume-grass grasses on radioactively contaminated arable land. Radioecological consequences of radiation accidents - to the 35th anniversary of the Chernobyl accident: Collection of reports of the international scientific-practical conference. Obninsk: FGBNU VNIIRAE; 2021. P. 372-375. (In Russian).
15. Fesenko SV, Prudnikov PV, Emlyutina ES, Epifanova IE, Shubina OA. Dynamics of ¹³⁷Cs concentrations in agricultural products after the Chernobyl accident: cereals, potato, and vegetables. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4):45-57. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-45-57>.
16. OCTMO 15 000 000 - Municipalities of the Bryansk Oblast. Available from: classificators.ru/oktmo/15000000000 (Accessed: 18.07.2023). (In Russian).
17. Russian Statistical Yearbook. 2021: Statistical Collection. Moscow: Federal State Statistics Service; 2021. 692 p. (In Russian).
18. Population of the Russian Federation by sex and age as of January 1, 2022: Statistical Bulletin. Moscow: Federal State Statistics Service (Rosstat); 2022. (In Russian).
19. Travnikova IG. The dynamics of food rations of Bryansk region population living in the territories contaminated after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(3):26-32. (In Russian).
20. Russian Statistical Yearbook. 2022: Statistical Collection. Moscow: Federal State Statistics Service; 2022. 691 p. (In Russian).
21. Main results of the agricultural microcensus 2021. Statistical collection. Moscow: Information and Information Center "Statistics of Russia"; 2022. 420 p. (In Russian).
22. Zaitsev VV. Concept of the strategy of sustainable development of the territory of Chemeriska rural council of Bragin district of Gomel region. Minsk; 2016. (In Russian).

23. Nikalaenka EV. Justification of the approaches for evaluating the representative face model for radiation protection of the population around the Belarusian NPP. Health and Environment: collection of scientific papers. Minsk: RNMB; 2017. P. 40-44. (In Russian).
24. Karpenko A.F., Tsarenok A.A. Livestock production in private subsidiary farms on the territory of radioactive contamination. *Aktualnye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva = Actual problems of intensive development of animal husbandry*. 2020;23(2): 170-176. (In Russian).
25. Bryansk Oblast in figures.2023: Brief statistical compendium. Ed. by Klorshstein VE, et al. Bryansk: Bryanskstat; 2023. 196 p. (In Russian).
26. Federal State Statistics Service. Livestock production per capita in the Russian Federation 2021. Available from: www.rossstat.gov.ru (Accessed: 22.04.2022). (In Russian).
27. Shavel A.N. Economic Geography of Belarus. Minsk: Belarusian State University; 2022. (In Russian).
28. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Bratilova AA, Gromov AV, Titov NV. Assessment of annual effective dose from external exposure in forests of the south-western districts of the Bryansk region of Russia: 2015–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(3): 58-71. (In Russian). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71>.
29. Kaduka MV, Goncharova YN, Shutov VN, Shilova KV. Doses of internal exposure of South-Western districts of Bryansk region due to consumption of food products and drinking water in the remote period after the Chernobyl accident. Russian-Belarusian-Ukrainian Borderland: Province as a Socio-Cultural Phenomenon: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ed. by VN Pustotova, SN Starodubets, AV Shlom. Novozybkov: RIO BSU; 2009. P. 411-415. (In Russian).
30. Nilova EK, Bortnovsky VN, Tagai SA, Dudareva NV, Nikitin AN. Assessment of the current levels of ^{241}Am и ^{137}Cs in soils and foodstuff, as well as of public internal exposure to ionizing radiation in populated areas adjacent to the Chernobyl NPP exclusion zone (case study: the Bragin district of the Gomel region, Belarus). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 25-37. (In Russian). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37>.
31. Nilova EK, Bortnovsky VN, Tagai SA, Dudareva NV, Nikitin AN. ^{241}Am and ^{137}Cs in the Khoyniki district of Belarus: updated radiological assessment of the local existing exposure situation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4): 17-30. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-17-30>.
32. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Oxford: Pergamon Press; 1977. Vol. 1, No 3.
33. International Commission on Radiological Protection, Sowby F.D. Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population. ICRP Publication 43. Oxford: Pergamon Press; 1977.
34. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection of people and the environment in the event of a large nuclear accident: update of ICRP Publications 109 and 111. ICRP Publication 146. *Annals of the ICRP*. 2020;49(4).
35. Methodological recommendations MR 2.6.1.0055-11 "Criteria and requirements for ensuring the procedure of transition Settlements from the conditions of a radiation accident to the conditions of normal life activity of the population". *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(2): 72–96. (In Russian).
36. Russian National Report: 30 Years of the Chernobyl Accident: Results and Prospects of Overcoming its Consequences in Russia. 1986-2016. Ed. by VA Puchkov and LA Bolshov. Moscow; 2016. (In Russian).

Received: July 20, 2023

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

Anatoly B. Bazyukin – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Anatoly N. Barkovsky – Head of the Federal Radiological Center, Chief Scientific Officer of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Artem M. Biblin – Head of the Information and Analytical Center, Senior Researcher, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

For correspondence: Angelika A. Bratilova – Head of the Laboratory of Internal Exposure at the St. 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, St. Petersburg, Russia, 197101; E mail: bratilova@gmail.com)

Gennadiy Ya. Bruk – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Internal Irradiation, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Ksenia V. Varfolomeeva – junior researcher of the ecology laboratory of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Alexey V. Gromov – Senior Researcher, Head of the Emergency Response Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Elena A. Drozdova – Leading Research Engineer, Laboratory of Dosimetry of Natural Sources, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Tatiana V. Zhesko – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov – Junior Scientific Associate of Radiochemical Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Marina V. Kaduka – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Radiochemical Laboratory of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Tatyana A. Kormanovskaya – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Dosimetry of Natural Sources, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Olga S. Kravtsova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Internal Irradiation, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Nekrasov – junior researcher of the External Irradiation Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Valery P. Ramzaev – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, External Exposure Laboratory, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Kirill A. Saprykin – Senior Researcher, Head of the Laboratory of Dosimetry of Natural Sources, St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Prof. P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Nikolay V. Titov – junior researcher of the laboratory of external irradiation of the St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Prof. P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, St. Petersburg, Russia

Oleg A. Isakov – Chief Physician, Center of Hygiene and Epidemiology in Bryansk Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bryansk, Russia

Evgenia I. Zlotnikova – doctor on sanitary-hygienic laboratory researches of radiological laboratory of the Center of Hygiene and Epidemiology in Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bryansk, Russia

Alexey G. Sosnitsky – expert physicist of the laboratory of ionizing and non-ionizing radiation and physical factors of the Center of Hygiene and Epidemiology in Bryansk region of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bryansk, Russia

Victor I. Filin – Deputy Chief Physician for Sanitary and Epidemiological Issues, Center for Hygiene and Epidemiology in Bryansk Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Bryansk, Russia

Alexander V. Kudryashov – chief physician of the branch of the Center of Hygiene and Epidemiology in Klinty, Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Klinty, Bryansk region, Russia

Andrey A. Ladik – expert-physicist on control over sources of ionizing and non-ionizing radiation of the branch of the Center of Hygiene and Epidemiology in Klinty, Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Klinty, Bryansk region, Russia

Vartan A. Lalayan – Deputy Chief Doctor for Sanitary and Epidemiological Issues of the Hygiene and Epidemiology Center branch in Klinty, Bryansk region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Klinty, Bryansk region, Russia

For citation: Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Barkovsky A.N., Biblin A.M., Bratilova A.A., Bruk G.Ya., Varfolomeeva K.V., Gromov A.V., Drozdova E.A., Zhesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kormanovskaya T.A., Kravtsova O.S., Nekrasov V.A., Ramzaev V.P., Saprykin K.A., Titov N.V., Isakov O.A., Zlotnikova E.I., Sosnitskiy A.G., Filin V.I., Kudryashov A.V., Ladik A.A., Lalayan V.A. Results of modern radiation-hygienic surveys of settlements of Bryansk Oblast of the Russian Federation bordering the Republic of Belarus. Part 1: Characteristics of the settlements. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 22-36. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-22-36

Характеристика радиационного риска, связанного с проведением компьютерной томографии, для российских пациентов, путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни

Л.В. Репин¹, Р.Р. Ахматдинов¹, А.М. Библин¹, А.В. Водоватов^{1,2}, Л.А. Чипига^{1,3,4}, И.Г. Шацкий¹

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

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

³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Оценка радиационных рисков при медицинском облучении пациентов — один из обязательных этапов при обосновании назначения медицинских рентгенорадиологических исследований. Основные цели такой оценки заключаются в необходимости анализа польза — вред при назначении исследования и в информировании пациентов или их законных представителей о радиационном риске, сопровождающем рекомендуемое исследование. Традиционный подход к оценке радиационного риска заключается в использовании для характеристики риска показателей на основе пожизненной заболеваемости и/или смертности в связи с воздействием радиационного фактора. Однако развитие методологии оценки популяционного здоровья и необходимость гармонизации методологии оценки радиационного риска с рисками от воздействия факторов иной природы предполагают использование более информативных обобщенных показателей здоровья при оценке воздействия вредных факторов среды обитания. Цель работы заключалась в практическом применении разрабатываемой методологии оценки радиационного ущерба для характеристики риска путем расчета значений показателя DALY (числа лет здоровой полноценной жизни, потерянных вследствие воздействия ионизирующего излучения) для различных половозрастных групп пациентов из российской популяции при проведении компьютерной томографии. Для достижения указанной цели применялся разработанный ранее метод оценки числа лет здоровой жизни, потерянных вследствие воздействия ионизирующих излучений. Вычисления производились с помощью специально разработанной компьютерной программы на основе моделей Международной комиссии по радиологической защите при использовании медико-демографических данных российской популяции. В статье представлены результаты расчета значений показателя DALY для 6 видов компьютерно-томографических исследований. Использование показателя DALY для характеристики риска вместо наиболее широко используемой величины радиационного ущерба (или пожизненного риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни при возникновении онкологического заболевания, не приводящего к смерти) представляет собой попытку гармонизации методологии оценки радиационного риска с методологиями оценки рисков для здоровья иной природы. Одним из направлений использования результатов расчета является разработка поло- и возраст-зависимых коэффициентов риска, связанного с медицинским облучением пациентов. Анализ полученных результатов показал, что возрастное распределение рисков хорошо согласуется с данными, представленными в методических рекомендациях МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Также показано, что показатель DALY может служить основой для сравнительной оценки получаемых и предотвращаемых рисков в области медицинского облучения пациентов.

Ключевые слова: радиационный риск, эффективная доза, годы жизни с поправкой на нетрудоспособность, медицинское облучение, компьютерная томография.

Репин Леонид Викторович

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: l.repin@niirg.ru

Введение

Эффективная доза, разработанная в качестве удобной меры радиационного риска для населения и персонала в целях контроля соблюдения основных пределов доз при неравномерном облучении в условиях нормальной эксплуатации радиационных объектов [1–4]¹, по причине простоты и удобства стала повсеместно использоваться в качестве меры риска, связанного с медицинским облучением пациентов. Однако на протяжении многих лет в научном сообществе не прекращается дискуссия о необходимости корректировки сложившегося подхода [4–7], и тому есть несколько веских причин:

- в отличие от облучения населения за счет природных и техногенных источников, медицинское облучение носит острый, а не пролонгированный или фракционированный характер;

- дозы облучения, получаемые пациентами при некоторых видах медицинских рентгенорадиологических исследований, существенно превосходят среднегодовые дозы техногенного облучения населения и персонала радиационных объектов;

- медицинское облучение пациентов, как правило, связано с существенно неравномерным по телу облучением (это же относится и к некоторым природным источникам, например, к воздействию радона и дочерних продуктов его распада, однако степень неравномерности медицинского облучения и число затронутых органов, как правило, существенно выше);

- результаты оценки радиационных рисков (в том числе и при медицинском облучении) на основе эффективной дозы и коэффициентов номинального риска не могут быть напрямую сопоставлены (сравнены) с рисками иной этиологии, например, от воздействия химических и биологических факторов;

- в процессе обоснования назначения диагностических и терапевтических рентгенорадиологических процедур необходимо сравнивать радиационный ущерб (риск) с риском недополучения диагностической информации и/или недостижения лечебного эффекта. На текущий момент данное сравнение крайне затруднено и не имеет проработанной методической основы.

При этом некоторые достоинства эффективной дозы, такие как аддитивность значений или отсутствие возрастных различий риска в пределах широких возрастных групп, оказываются довольно спорными в области медицинского облучения. В научных публикациях регулярно

обсуждается необходимость дифференцирования оценок радиационного риска в зависимости от пола и возраста пациентов, необходимость учета демографических характеристик в различных группах пациентов (например, отличие в функциях дожития групп пациентов и всего населения в целом), необходимость переноса оценок риска на национальные популяции и т.п. [4–8].

Один из возможных подходов к решению указанных задач был реализован в виде 2 методических документов: МР 2.6.1.0098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований»² и пришедших им на смену МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований»³ [8]. В указанных документах приведены оценки риска для отдельных видов медицинского облучения и классификация рисков по качественной шкале для информационной поддержки принятия решений по поводу обоснованности медицинского облучения.

В настоящей статье предложен альтернативный подход к половозрастной дифференциации радиационных рисков на основе расчета показателя DALY⁴, т.е. числа потерянных вследствие облучения лет здоровой полноценной жизни. Показатель DALY представляет собой обобщенный показатель популяционного здоровья, представляющий собой сумму числа лет, потерянных вследствие преждевременной смертности по причине конкретного заболевания, и числа лет, прожитых в состоянии неполного здоровья (состоянии нетрудоспособности) по причине вышеназванного заболевания (формула 1):

$$DALY=YLL+YLD, \quad (1)$$

где YLL⁵ – число лет, потерянных вследствие преждевременной смерти,

YLD⁶ – число лет, прожитых в состоянии неполного здоровья.

При этом годам жизни, прожитым в состоянии неполного здоровья, присваиваются различные веса от 0 до 1 в зависимости от степени тяжести конкретных заболеваний. Методика оценки тяжести заболеваний разрабатывается в рамках проекта Всемирной организации здравоохранения «Глобальное бремя болезней» и постоянно совершенствуется [9, 10]. Показатель DALY широко используется в области организации здравоохранения и находит все более широкое применение в оценке рисков для здоровья [11–13].

¹ Ситуации аварийного облучения в настоящей работе не рассматриваются.

² МР 2.6.1.0098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.04.2015 г. [Methodical Recommendation (MR) 2.6.1.0098-15 "Assessment of radiation risk of patients during radiological examinations". Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 06.04.2015). (In Russ.)]

³ 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 during radiological examinations". Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020). (In Russ.)]

⁴ Disability-adjusted life years (англ.) – годы жизни с поправкой на нетрудоспособность.

⁵ Years of Life Lost (англ.) – потерянные годы жизни.

⁶ Years Lived with Disability (англ.) – годы, прожитые с нетрудоспособностью (заболеванием).

Цель исследования – расчет значений показателя DALY для различных половозрастных групп пациентов из российской популяции при проведении компьютерной томографии.

Задачи исследования

1. Оценены органные дозы пациентов различных возрастных групп при различных видах компьютерно-томографических (КТ) исследований.

2. Рассчитаны значения показателя DALY для различных видов исследований с использованием указанных органных доз на основе моделей радиационного риска из 152-й Публикации Международной комиссии по радиологической защите (далее – МКРЗ) [3].

3. Значения DALY, полученные по моделям относительного и абсолютного риска, взвешены с использованием соответствующих множителей из 152-й Публикации МКРЗ.

Материалы и методы

Для оценки числа потерянных лет здоровой жизни применялась методика расчета показателя DALY, описанная в [14–16].

Расчет включал в себя следующие этапы:

1. Оценка средних значений органных доз облучения для пациентов различного пола и возраста для 6 видов КТ-исследований: всего тела, головы, органов грудной клетки, органов брюшной полости, органов грудной клетки с введением контрастного вещества, органов брюшной полости с введением контрастного вещества. Органные дозы были рассчитаны с использованием программного обеспечения NCICT [17] по протоколам КТ-сканирования, собранных лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в различных регионах Российской Федерации в период 2010–2019 гг. Ранее эти данные были использованы при разработке МР 2.6.2.0215-20. Расчет доз облучения для категории «Другие солидные ЗНО» был выполнен в соответствии с рекомендациями 103-й Публикации МКРЗ [2].

2. Расчет избыточной заболеваемости радиогенными раками, вызванными однократным облучением, по модели МКРЗ в различных достигнутых возрастах в зависимости от пола и возраста при облучении по моделям абсолютного и относительного риска с использованием российских медико-демографических данных за 2018 г. [18].

3. Расчет значений показателя DALY по моделям абсолютного и относительного риска в соответствии с методикой, описанной в [15] для соответствующих значений органных доз у лиц различного пола и возраста при проведении 6 вышеуказанных видов КТ исследований.

4. Для переноса результатов оценки риска по моделям абсолютного и относительного риска на российскую популяцию полученные значения взвешивались с помощью коэффициентов, предложенных в 152-й Публикации МКРЗ [3].

5. Полученные значения DALY, соответствующие органным дозам, получаемым в ходе КТ-исследований,

суммировались на последнем этапе для получения интегральной оценки DALY.

6. Для выполнения расчетов использовалась специально разработанная программа на языке Wolfram Language.

Результаты и обсуждение

В результате выполнения расчетов были получены значения радиогенных⁷ DALY для 36 половозрастных групп пациентов (по 18 возрастных групп пациентов мужского и женского пола) при выполнении 6 видов КТ-исследований. В таблице представлены округленные до целого числа лет значения DALY, связанные с воздействием ИИ, при выполнении КТ для мужчин и женщин в расчете на 10 000 пациентов. Для справки приводятся соответствующие средние значения эффективной дозы для гермафродитного фантома. При этом для взрослых пациентов приводится одно значение эффективной дозы для всех возрастных групп.

Как видно из представленных в таблице результатов расчета, значение DALY для всех процедур убывает, начиная с возраста 20 лет. Это связано с тем, что значение DALY при одинаковых органных дозах зависит исключительно от функции дожития, которая убывает с возрастом. Значения же DALY в детском и подростковом возрастах зависят в первую очередь от параметров проведения исследований и анатомических особенностей организма детей и подростков, что приводит к большому различию органных доз и, как следствие, может приводить к колебаниям значений DALY при различных видах исследований (рис. 1).

Одним из важных практических аспектов настоящей работы является анализ распределения рисков медицинского облучения пациентов в зависимости от пола и возраста пациента при проведении исследования, т.е. разработка подходов к расчету поло- и возраст-зависимых показателей радиационного риска для конкретных видов рентгенорадиологических исследований. Указанная задача была решена в рамках методических рекомендаций МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», однако в качестве показателя риска использовалась величина пожизненного риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни и российские медико-демографические данные за 2008 г. В настоящей работе аналогичные расчеты были проведены для показателя DALY по российским медико-демографическим данным за 2018 г. На рисунке 2 сопоставлены распределения значений показателей риска по данным МР 2.6.2.0215-20 и значения DALY, полученные в рамках настоящей работы. Видно, что возрастные распределения радиационных рисков хорошо согласуются между собой.

Таким образом, использование показателя DALY в качестве меры радиационного вреда для здоровья при медицинском облучении пациентов может дополнять оценки риска на основе показателей смертности, используемые

⁷ Проведение медицинских рентгенорадиологических исследований сопряжено с риском не только радиационной природы, но и с иными видами риска: например, с риском возникновения аллергических реакций на введение контрастного вещества и т.д. В настоящей статье под радиогенным DALY подразумеваются оценки с помощью показателя DALY только радиационного риска, возникающего при нормальном проведении рентгенорадиологического исследования.

Значения DALY от воздействия ИИ на 10 000 пациентов при выполнении КТ-исследований

[Table

DALY values from exposure to ionizing radiation per 10,000 patients for computed tomography (CT) examinations]

Возраст при облучении, лет [Age at exposure, years]	Вид и область проведения КТ-исследования [Type and area of CT examination]																			
	КТ головы [Head CT]		КТ органов грудной клетки [Chest CT]				КТ органов грудной клетки с контрастом [Chest CT with contrast]				КТ органов брюшной полости [Abdominal CT]		КТ органов брюшной полости с контрастом [Abdominal CT with contrast]				КТ всего тела [Whole-body CT]			
	Эф. доза, мЗв [Effective dose, mSv]		DALY на 10 000 чел., лет [DALY per 10 000 per., year]		Эф. доза, мЗв [Effective dose, mSv]		DALY на 10 000 чел., лет [DALY per 10 000 per., year]		Эф. доза, мЗв [Effective dose, mSv]		DALY на 10 000 чел., лет [DALY per 10 000 per., year]		Эф. доза, мЗв [Effective dose, mSv]		DALY на 10 000 чел., лет [DALY per 10 000 per., year]		Эф. доза, мЗв [Effective dose, mSv]		DALY на 10 000 чел., лет [DALY per 10 000 per., year]	
	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]
0	1,82	6	10	2,83	20	51	4,24	30	76	5,37	54	69	8,05	82	103	14,3**	89	180		
1	2,12	7	16	2,84	18	49	4,26	28	74	5,75	55	69	9,78	94	117		89	174		
5	2,39	8	15	3,15	19	47	5,04	30	76	6,03	49	77	12,06	98	154	13,1	75	141		
10	1,88	4	6	3,19	17	39	5,75	30	71	6,24	50	63	13,73	111	138	12,6	64	113		
15	2,75	9	11	4,15	22	42	8,31	44	83	6,50	43	53	16,24	108	133	14,1	65	109		
20		7	8		27	51		63	121		45	61		146	196		62	101		
25		7	8		24	44		56	104		39	52		124	168		54	88		
30		6	8		21	38		50	90		33	45		107	144		48	76		
35		6	7		19	33		45	78		29	38		92	122		43	66		
40		6	6		17	28		40	66		24	32		78	101		38	56		
45		5	6		15	24		36	57		20	26		65	83		33	48		
50	2,6	5	5	5,8	13	20	13,6	31	47	7,7	17	21	24,7	53	67	14,9	29	40		
55		4	5		11	17		25	39		13	16		41	52		23	33		
60		3	4		8	13		19	31		9	12		30	39		17	26		
65		2	3		6	10		13	22		6	9		20	28		12	19		
70		2	2		3	6		6	13		3	5		10	16		6	11		
75		0	1		1	3		1	7		1	3		2	9		1	6		
80		0	0		0	1		0	2		0	1		1	2		0	2		

* Оценка эффективной дозы для КТ всего тела приводится на основании сведений, представленных в МР 2.6.2.0215–20 [The effective dose estimation for whole body CT is based on the information provided in MR 2.6.2.0215-20.].

** Приведена оценка для группы возрастов от 0 до 4 лет [given for ages from 0 to 4 years old].

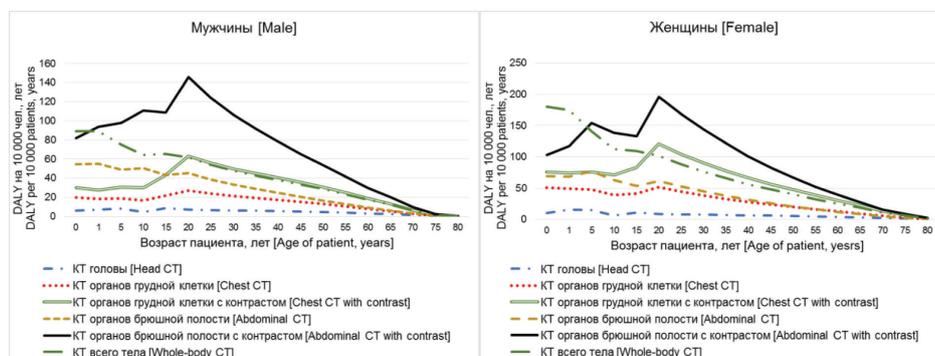


Рис. 1. Зависимость значений радиогенного DALY от возраста пациентов при проведении КТ-исследований в Российской Федерации [Fig. 1. Dependence of radiogenic DALY values on the age of patients undergoing CT examinations in the Russian Federation]

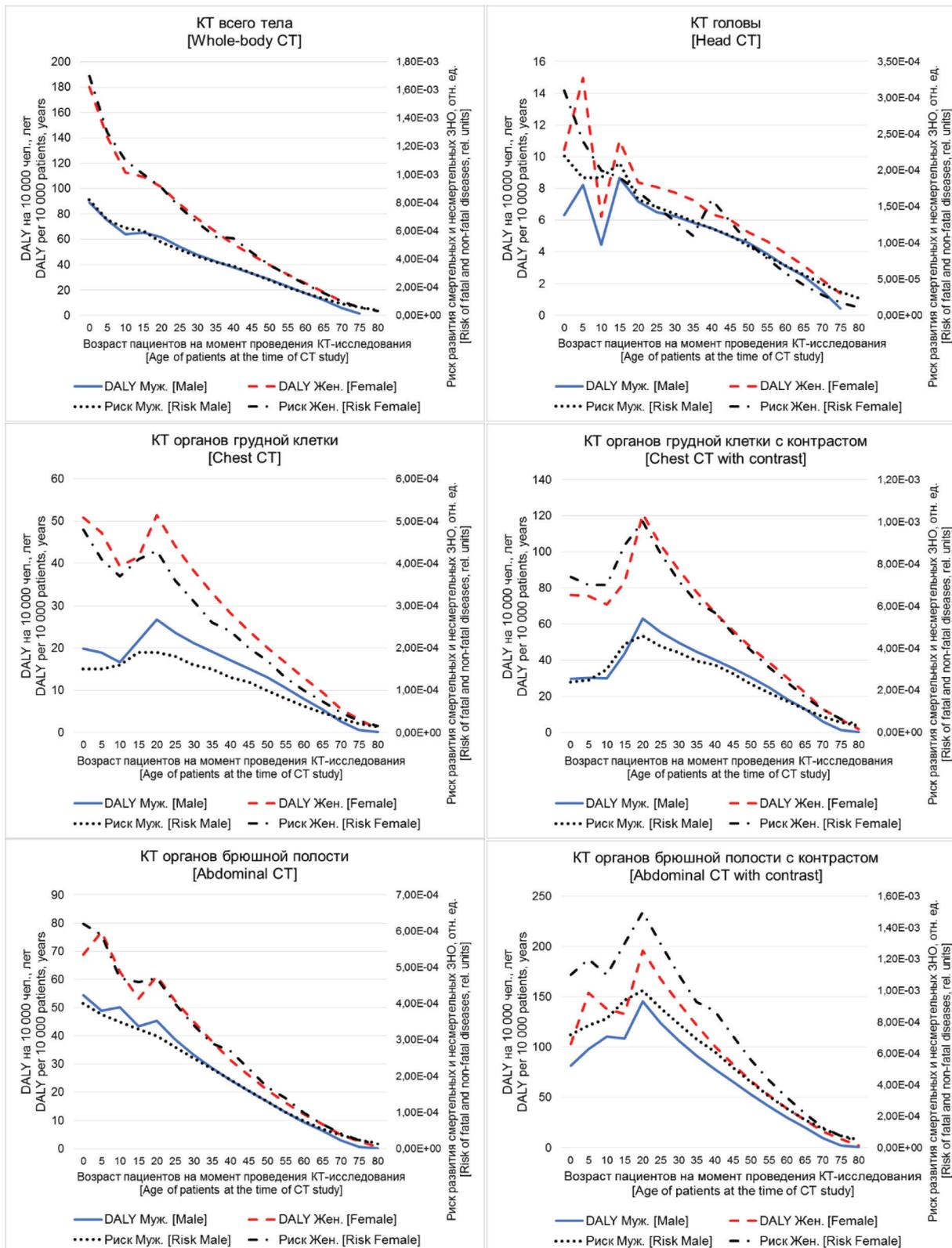


Рис. 2. Сопоставление возрастных распределений рисков, представленных в MR 2.6.1.0215–20, и показателей DALY, полученных в настоящей работе, для различных КТ-исследований
[Fig 2. Comparison of age-specific risk distributions presented in MR 2.6.1.0215-20 and DALY values obtained in this study for different CT examinations]

в настоящее время, и существенно расширить информативность оценки и характеристики радиационных рисков для здоровья.

Заключение

Развитие методологии оценки радиационных рисков является одним из приоритетных научно-практических направлений в области обеспечения радиационной безопасности населения. Повсеместное внедрение современных методов медицинской диагностики и лечения с использованием ионизирующих излучений, а также значительный вклад медицинского облучения в годовую коллективную дозу облучения населения Российской Федерации придают особую важность корректной оценке рисков для здоровья, связанных с воздействием данного фактора риска.

Однако особенность медицинского облучения и его отличие от природного и техногенного облучения заключаются в преднамеренном облучении пациентов для получения необходимой диагностической информации и/или лечения выявленных заболеваний. В связи с этим важную роль играет развитие практических подходов к реализации принципа обоснования при медицинском облучении, т.е. разработка практических подходов к сопоставлению ожидаемой пользы и потенциального вреда, связанных с назначением медицинских лучевых исследований и процедур.

Разрабатываемый авторами работы подход заключается в использовании показателя DALY, т.е. потерянного числа лет здоровой полноценной жизни, для расчета вредных последствий медицинского облучения и пользы от его использования, состоящей в предотвращаемых негативных для здоровья последствиях диагностируемого или диагностированного заболевания. Также показатель DALY может служить основой для соотношения радиационных и нерадиационных рисков, связанных с медицинскими рентгенорадиологическими исследованиями и процедурами.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Репин Л.В. разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, осуществлял расчеты значений показателя радиационного ущерба, написал черновик рукописи.

Ахматдинов Р.Р. провел поиск и анализ литературных данных, создал иллюстрации, редактировал промежуточный вариант рукописи

Библин А.М. провел поиск и анализ литературных данных, редактировал промежуточный вариант рукописи, подготовил окончательный вариант рукописи

Водоватов А.В. осуществлял общее руководство исследованием, редактировал промежуточный вариант рукописи

Чипига Л.А. анализировала дозы облучения при КТ-исследованиях

Шацкий И.Г. анализировал дозы облучения при КТ-исследованиях

Информация о конфликте интересов

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование прикладных методов оценки радиационных рисков для здоровья населения при различных ситуациях и сценариях облучения на основе современных подходов к оценке радиационного ущерба».

Литература

1. Публикация 60 МКРЗ, часть 1, 61 МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года / пер. с англ. Т.Д. Кузьминой; под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. М.: Энергоатомиздат, 1994. 192 с.
2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // *Annals of the ICRP*. 2007. Vol. 37, No 2-4. 332 p.
3. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152 // *Annals of the ICRP*. 2022. Vol. 51, No 3. 103 p.
4. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147 // *Annals of the ICRP*. 2021. Vol. 50, No 1. 103 p.
5. Harrison J., Haylock R., Jansen J.T.M., et al. Effective doses and risks from medical diagnostic x-ray examinations for male and female patients from childhood to old age // *Journal of Radiological Protection*. 2023. Vol. 43, № 1, 011518. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acbda7>.
6. Андерссон М., Эккерман К., Павел Д., и др. Улучшенные модели оценки радиационного риска для отдельных когорт пациентов в Швеции. // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 2. С. 44–54. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54>.
7. Mattsson S. Need for individual cancer risk estimates in x-ray and nuclear medicine imaging // *Radiation Protection Dosimetry*. 2016. Vol. 169, № 1-4. P. 11–16. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw034>.
8. Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в Российской Федерации // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 3. С. 56–68. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68>.
9. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Репин В.С. О гармонизации показателей радиационного риска для здоровья и риска от воздействия иных вредных факторов на основе оценки числа потерянных лет здоровой жизни // *Анализ риска здоровью*. 2022. № 1. С. 170–183. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.18>.
10. Chen A., Jacobsen K.H., Deshmukh A.A., Cantor S.B. The evolution of the disability-adjusted life year (DALY) // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2015. Vol. 49. P. 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.12.002>.
11. Jepsen P., Younossi Z.M. The global burden of cirrhosis: A review of disability-adjusted life-years lost and unmet needs // *Journal of Hepatology*. 2021. Vol. 75. P. S3–S13. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2020.11.042>.
12. Gianino M.M., Savatteri A., Politano G., et al. Burden of COVID-19: Disability-Adjusted Life Years (DALYs) across 16 European countries // *European Review for Medical & Pharmacological Sciences*. 2021. Vol. 25, № 17. P. 5529–5541. https://doi.org/10.26355/eurrev_202109_26665.
13. Vaillant L., Maitre M., Lafranque E., et al. Proposal of a quantitative approach integrating radioactive and chemical risks // *Radioprotection*. 2023. Vol. 58, № 2. P. 147–155. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2023012>.

14. Репин Л.В. Оценка радиационного ущерба для здоровья: о возможности использования эффективной дозы для расчета числа потерянных лет здоровой жизни // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 1. С. 52–65. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-52-65>.
15. Shimada K., Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure // *Journal of Radiological Protection*. 2015. Vol. 35, № 4. P. 763–775. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/35/4/763>.
16. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М. Расчет числа потерянных лет здоровой жизни вследствие воздействия ионизирующего излучения на население Российской Федерации // *Medline.ru*. Российский биомедицинский журнал. 2023. Т. 24. С. 448–460.
17. NCICT: NCI dosimetry system for Computed Tomography. URL: <https://dceg.cancer.gov/tools/radiation-dosimetry-tools/computed-tomography> (Дата обращения: 20.07.2023).
18. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. 250 с.

Поступила: 17.07.2023 г.

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: l.repin@niirg.ru

ORCID: 0000-0002-4857-6792

Ахматдинов Рустам Расимович – ведущий инженер-исследователь Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-4151-5380

Библин Артем Михайлович – старший научный сотрудник, руководитель Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-3139-2479

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, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, доцент кафедры общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-5191-7535

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; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Минздрава России; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Шацкий Илья Геннадьевич – 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, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-2809-0223

Для цитирования: Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г. Характеристика радиационного риска, связанного с проведением компьютерной томографии для российских пациентов, путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 3. С. 37–45. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45

Characterization of radiation risk associated with computed tomography for the Russian patients using disability-adjusted life years measure

Leonid V. Repin¹, Rustam R. Akhmatdinov¹, Artem M. Biblin¹, Aleksandr V. Vodovatov^{1,2}, Larisa A. Chipiga^{1,3,4}, Ilya G. Shatskiy¹

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

³ A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Radiation risks assessment in medical exposure of patients is one of the mandatory steps in justifying the medical radiological examinations. The main objectives of such assessment are the need for benefit-harm analysis, when prescribing a study, and informing patients or their legal representatives about the radiation risk associated with the recommended examination. The traditional approach to radiation risk assessment is the use of measures based on lifetime morbidity and/or mortality due to radiation exposure in risk characterization. However, the development of the methodology of population health assessment and the need to harmonize the methodology of radiation risk assessment with risks from exposure to factors of other nature imply the use of more informative generalized health indicators in the assessment of exposure to harmful environmental factors. The aim of actual work was to apply the developed methodology of radiation detriment assessment to characterize the risk by calculating DALY (number of years of healthy full life lost due to exposure to ionizing radiation) values for different sex and age groups of Russian patients undergoing computed tomography. To achieve this goal, the previously developed method of estimating the number of years of healthy life lost due to exposure to ionizing radiation was used. Calculations were performed with the use of a specially developed computer program based on the models of the International Commission on Radiological Protection using medical and demographic data of Russian population. The article presents the results of DALY calculation for six types of computed tomographic examinations. The use of DALY to characterize risk instead of the most widely used value of radiation detriment (or lifetime risk of death, relating the harm from the reduction in the quality of life in the case of non-fatal oncological disease) is an attempt to harmonize the methodology of radiation risk assessment with the methodologies of other kind of health risks. One of the directions of calculation results usage is the development of sex- and age-dependent risk coefficients associated with medical exposure of patients. The analysis of the obtained results showed that the age distribution of risks agrees well with the data presented in the methodological recommendations MR 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risk to patients in radiology examinations". It is also shown that the DALY indicator can serve as a basis for comparative assessment of obtainable and avoidable risks in the field of medical radiation exposure of patients.

Key words: radiation risk, effective dose, disability-adjusted life years, medical exposure, CT scan.

Personal contribution of authors

Repin L.V. developed design of the study, determined aims and objectives, performed calculations of radiation detriment indicator values, prepared draft of the manuscript.

Akhmatdinov Rustam R. searched and analyzed literature data, created figures, edited the draft of the manuscript.

Biblin A.M. searched and analyzed literature data, edited the draft versions of the manuscript, presented the final version of manuscript for submission.

Vodovatov A.V. provided supervision of the study, the draft versions of the manuscript.

Chipiga L.A. analyzed radiation doses from CT examinations.

Shatskiy I.G. analyzed radiation doses from CT examinations.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Funding

The study was not supported by sponsorship. The study was performed within framework of research project "Development and scientific justification of applied methods for assessment of radiation risks to public health under different situations and exposure scenarios based on modern approaches to radiation detriment assessment".

References

1. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP*. Pergamon Press. 1991;21 (1-3): 202.

Leonid V. Repin

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

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

2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 332.
3. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. *Annals of the ICRP*. 2022;51(3): 103.
4. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. *Annals of the ICRP*. 2021;50(1): 82 p.
5. Harrison J, Haylock R, Jansen JTM, Zhang W, Wakeford R. Effective doses and risks from medical diagnostic x-ray examinations for male and female patients from childhood to old age. *Journal of Radiological Protection*. 2023;43(1): 011518. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acbda7>.
6. Andersson M, Eckerman K, Pawel D, Almen A, Mattsson S. Improved radiation risk models applied to different patient groups in Sweden. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 44–54. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54>.
7. Mattsson S. Need for individual cancer risk estimates in x-ray and nuclear medicine imaging. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;169(1-4): 11–16. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw034>.
8. Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Shatskiy IG. Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 56–68. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68> (In Russian).
9. Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Repin VS. On harmonization of health risk indicators caused by ionizing radiation exposure and other harmful factors based on DALY estimates. *Health Risk Analysis*. 2022;1: 162–175. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.18.eng>.
10. Chen A, Jacobsen KH, Deshmukh AA, Cantor SB. The evolution of the disability-adjusted life year (DALY). *Socio-Economic Planning Sciences*. 2015;49: 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.12.002>.
11. Jepsen P, Younossi ZM. The global burden of cirrhosis: A review of disability-adjusted life-years lost and unmet needs. *Journal of Hepatology*. 2021;75: S3–S13. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2020.11.042>.
12. Gianino MM, Savatteri A, Politano G, Nurchis MC, Pascucci D, Damiani G. Burden of COVID-19: Disability-Adjusted Life Years (DALYs) across 16 European countries. *European Review for Medical & Pharmacological Sciences*. 2021;25(17): 5529–5541. https://doi.org/10.26355/eurrev_202109_26665.
13. Vaillant L, Maitre M, Lafranque E, Schneider T, Wasselin V. Proposal of a quantitative approach integrating radioactive and chemical risks. *Radioprotection*. 2023;58(2): 147–155. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2023012>.
14. Repin LV. Radiation detriment estimation: on the possibility of effective dose usage to assess the number of years of healthy life lost. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(1): 52–65. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-52-65> (In Russian).
15. Shimada K, Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 763–775. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/35/4/763>.
16. Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM. Calculation of healthy life years lost due to exposure to ionizing radiation for Russian population. *Medline.ru*. 2023;35: 448–460. (In Russian).
17. NCICT: NCI dosimetry system for Computed Tomography. Available from: <https://dceg.cancer.gov/tools/radiation-dosimetry-tools/computed-tomography> (Accessed 20.07.2023).
18. Malignant tumors in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Moscow; 2019. 250 p. (In Russian).

Received: July 17, 2023

For correspondence: Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: l.repin@niirg.ru)

ORCID: 0000-0002-4857-6792

Rustam R. Akhmatdinov – engineer-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

ORCID: 0000-0002-4151-5380

Artem M. Biblin – senior research fellow, head of 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

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Aleksandr V. Vodovatov – PhD, lead research fellow, Head of the Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, docent of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; research fellow, Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies; docent, Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Ilya G. Shatskiy – research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, 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

ORCID: 0000-0003-2809-0223

For citation: Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Shatskiy I.G. Characterization of radiation risk associated with computed tomography for the Russian patients using disability-adjusted life years measure. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 37-45. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45

Предварительная оценка выведения ^{225}Ac у пациентов, проходящих радионуклидную терапию с ^{225}Ac -DOTA-TATE

Л.А. Чипига^{1,2,3}, А.В. Водоватов^{1,4}, А.А. Мосунов⁵, К.А. Сапрыкин¹, А.В. Громов¹, С.К. Васильев^{1,6}, А.В. Петрякова^{1,7}, Д.А. Важенина², М.В. Одинцова², В.Б. Номоконова², А.А. Станжевский², Д.Н. Майстренко²

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 АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия

⁷ Городская больница № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

Целью данной работы является оценка активности ^{225}Ac в моче пациентов, проходивших радионуклидную терапию с ^{225}Ac -DOTA-TATE. Удельная активность определялась в пробах мочи, которые отбирались в срок до 72 ч после введения ^{225}Ac -DOTA-TATE с использованием полупроводникового гамма-спектрометра ORTEC, модели TSP-DX-100T-PAC-PKG-1. Также производился расчет выводимых активностей на основании сцинтиграфии пациентов, сканирование осуществляли 5 раз для каждого пациента: сразу после введения, через 4 ч, 1, 2, 3 сут после введения препарата. На основании значений удельных активностей рассчитывались абсолютные значения активностей и проценты от введенной активности. Результаты рассчитанных значений удельных активностей демонстрируют, что максимум выведения наблюдается в первые 4 ч после введения препарата. Статистически значимые различия между 2 методами определения активности ^{225}Ac наблюдались только для 3-х суток после введения препарата, что позволяет в дальнейшем упростить проведение экспериментальных работ, используя методы непрямой радиометрии для расчета активности. Между группами препаратов с разным числом ранее проведенных введений радиофармацевтических лекарственных препаратов отсутствуют статистически значимые различия, что позволяет в дальнейшем не учитывать номер эпизода радионуклидной терапии при оценке результатов экспериментальных работ. Результаты работы являются первыми опубликованными экспериментальными данными по определению выведения ^{225}Ac -DOTA-TATE у пациентов.

Ключевые слова: радионуклидная терапия, ^{225}Ac -DOTA-TATE, биологическое выведение.

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений лечения онкологических заболеваний является радионуклидная терапия (РНТ). Лечебный эффект достигается за счет введения в организм пациента радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), состоящих из радионуклида (альфа- или бета-излучателя) и биологически активной молекулы, тропной к соответствующему фенотипу опухоли. РФЛП избирательно накапливаются в патологических очагах (опухолевых клетках), тем самым

обеспечивая избирательный терапевтический эффект с минимальным облучением здоровых радиочувствительных органов и тканей [1]. Для терапии опухолевых заболеваний, при которых экспрессируются рецепторы соматостатина, применяются РФЛП на основе соединения DOTA-TATE, меченного ^{177}Lu или ^{225}Ac [2, 3].

Особенностью обеспечения радиационной безопасности при проведении РНТ является необходимость контроля биологических отходов пациента. После введения РФЛП пациенту радионуклид будет выводиться с мочой

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

и калом, образуя при этом жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) [4, 5]. В соответствии с действующими отечественными нормативно-методическими документами¹ ЖРО в отделениях РНТ необходимо собирать в специальные накопительные баки, в которых будет происходить естественное снижение их активности до приемлемых уровней сброса подобных отходов в бытовую канализацию. Критерии отнесения к ЖРО определены в единицах удельной активности радионуклида в отходах².

На текущий момент наличие накопительных баков (системы спецканализации) является обязательным для всех отделений РНТ вне зависимости от объема ЖРО и уровней удельной активности радионуклидов в сточных водах. В предыдущих работах [6, 7] авторами был обоснован дифференцированный подход к необходимости наличия системы спецканализации в отделениях РНТ в зависимости от потока пациентов и размера медицинской организации, допускающей в ряде случаев проводить РНТ без спецканализации. Однако в цитированной работе отсутствуют данные о выведении ²²⁵Ac-DOTA-TATE в связи с их отсутствием в литературе.

Цель исследования – оценка активности ²²⁵Ac в биологических отходах пациентов, проходивших радионуклидную терапию с ²²⁵Ac-DOTA-TATE.

Задачи исследования

1. Определение выведенной активности ²²⁵Ac из организма пациентов после проведения РНТ с ²²⁵Ac-DOTA-TATE методами гамма-спектрометрии мочи.
2. Определение выведенной активности ²²⁵Ac из организма пациентов на основании обработки изображений пациентов после проведения РНТ с ²²⁵Ac-DOTA-TATE, полученных на однофотонном эмиссионном компьютерном томографе (ОФЭКТ).
3. Сравнение значений выведенных активностей, полученных двумя разными методами.

Материалы и методы

Работа была выполнена на базе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова (Центр). Исследование было санкционировано комитетом по этике Центра (протоколы от 20.01.2022 г. № 01-01/2022 и от 26.01.2023 г. № 01-01/2023). Сбор данных осуществлялся в период 2022–2023 г.: пациентам с назначением РНТ предлагали принять участие в клинических испытаниях нового пре-

парата ²²⁵Ac-DOTA-TATE. Введение РФЛП проводилось после подписания добровольного информированного согласия. Всего в исследовании приняло участие 8 пациентов, все женщины. Каждой пациентке за курс лечения вводили от 1 до 5 доз РФЛП в соответствии с планом лечения. Интервал между введениями РФЛП составлял в среднем 2 месяца. При анализе выборок каждое введение рассматривали отдельно.

Пациентки, проходящие РНТ, получали капельницы с аминокислотами (лизин и аргинин) за 4–5 ч до начала введения РФЛП, во время введения РФЛП и через 4 ч после окончания введения РФЛП (400 мл общий объем).

Определение активности на основании радиометрии проб мочи

Пациенты, проходившие курс РНТ с ²²⁵Ac-DOTA-TATE, оставались в стационаре МО на 3 суток. В таблице 1 представлены идентификационные номера пациентов и вводимая активность на каждый эпизод запланированного курса терапии.

Отбор проб мочи производился следующим образом:

- в первые 4 ч после введения РФЛП собирали и измеряли активность каждой микции (2 мочеиспускания за 4 ч);
- через 1, 2 и 3 сут после введения РФЛП отбор проб осуществляли во время, максимально приближенное ко времени введения РФЛП, чтобы соблюсти указанные интервалы.

Отбор мочи производился с помощью специальных медицинских суден, после чего измеряли объем и подготавливали аликвоту для измерения активности радионуклида.

Для измерения удельной активности в пробах использовали полупроводниковый гамма-спектрометр ORTEC, модели TSP-DX-100T-PAC-PKG-1, с программным обеспечением ECOGAMMA, размещенный в низкофоновой СИЧ-камере. Перед измерениями активности была измерена масса аликвоты, из нее вычитали массу тары. Измеренную активность корректировали на дату и время отбора пробы. Пробы размещались на расстоянии 6–10 см от детектора с целью снижения погрешности, учета мертвого времени и оптимизации загрузки спектрометра. При этом уменьшаются погрешности, связанные с неопределенностями геометрических размеров, с суммированием каскадных квантов. Идентификация ²²⁵Ac проводилась по энергиям его дочерних нуклидов, в частности, ²²¹Fr (218 кэВ) и ²¹³Pb (440 кэВ) [8, 9].

¹ СанПиН 2.6.1.2368-08. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. М.: Роспотребнадзор, 2008. 99 с. [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2368-08 «Hygienic requirements for radiation safety during radiation therapy using open radionuclide sources». М: Rospotrebnadzor, 2008. 99 p. (In Russ.)].

² ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. СП 2.6.1.2612-10 [Basic sanitary rules for radiation safety. Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10 (In Russ.)]; 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.)].

Идентификационный номер, номер введения и вводимая активность для пациентов, проходивших радионуклидную терапию с ^{225}Ac -DOTA-TATE

Таблица 1

Identification number, injection number and injected activity for patients undergoing radionuclide therapy with ^{225}Ac -DOTA-TATE

[Table 1]

Пациент [Patient]	Номер введения [Number of injection]	Вводимая активность, МБк [Injected activity, MBq]
1	1	5,2
	2	5,3
	3	5,2
	4	5,3
	5	5,4
2	1	6,4
	2	6,3
	3	6,5
	4	6,6
	5	6,8
3	1	5,3
	1	6,5
	2	6,8
4	3	6,5
	4	6,4
	1	5,2
5	2	4,8
	3	4,9
	1	7
6	2	7

На основании значений удельной активности ^{225}Ac в моче пациентов определяли выведенную активность путем умножения на отобранный измеренный объем, собранный за 4 ч после введения РФЛП. Для пациентов, прошедших РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE, определяли значения выведенной активности за 4 ч, за 1, 2 и 3 сут после введения препарата. Значения выведенной активности за 1, 2 и 3 сут оценивали с использованием эталонного суточного объема, который был взят за 1,5 л для женщин, при этом считали, что удельная активность мочи на протяжении суток после введения РФЛП была неизменной (за исключением первых 4 ч после введения) [10]. При определении активности за 1-е сутки учитывалась измеренная активность за первые 4 ч путем прибавления к ней активности за следующие 20 ч.

Расчет выводимой активности на основании сцинтиграфии пациентов

Сканирование всего тела пациентов, проходящих курс РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE, производилось сразу после введения РФЛП (5–7 мин после введения), через 4 ч, 1, 2 и 3 сут после введения препарата. Сканирование проводилось на аппарате GE Discovery NM 630 в передней и задней проекциях, оно занимало от 25 до 30 мин. Были использованы среднеэнергетические коллиматоры

1-MEGP, сканирование проводилось в планарном режиме со скоростью 8 см/мин. Для сбора данных использовалось 3 энергетических пика (80 кэВ, ширина 10%; 184 кэВ, ширина 10%; 415 кэВ, ширина 5%) [9].

Полученные изображения в формате DICOM были загружены в программу MicroDicom DICOM Viewer. Для определения зарегистрированного числа счетов от пациента с каждого изображения производилось обрисовывание области интереса – всего тела способом замкнутая кривая (closed curve).

Остаточная активность A_{WB} во всем теле пациента определялась на основании измерений до первого мочеиспускания (эталон) и через 4 ч, 1, 2 и 3 сут после введения ^{225}Ac -DOTA-TATE с использованием выражения 1[11]:

$$A_{WB}(t_i) = \frac{\sqrt{C_A(t_i) \times C_P(t_i)}}{CF_P}, \quad (1)$$

где: $C_A(t_i)$ и $C_P(t_i)$ – количество зарегистрированных счетов в момент времени t_i для передней и задней проекций соответственно;

CF_P – калибровочный коэффициент для каждого пациента, основанный на сканировании каждого пациента, выполненном сразу после введения ^{225}Ac -DOTA-TATE до первого опорожнения мочевого пузыря. Этот коэффициент рассчитывали с использованием выражения 2:

$$CF_P = \frac{\sqrt{C_A(0) \times C_P(0)}}{A_P}, \quad (2)$$

где A_P – введенная активность радионуклида в РФЛП.

Также рассчитывалась выводимая активность A_{ex} за промежуток времени $t_i - t_{i-1}$ с использованием выражения 3:

$$A_{ex} = A_{WB}(t_{i-1}) e^{\frac{-\ln(2)}{T_{1/2}}(t_i - t_{i-1})} - A_{WB}(t_i) \quad (3)$$

где $T_{1/2}$ период полураспада радионуклида.

Расчет выводимой активности за 1-е сутки производился относительно нулевой точки – введения препарата.

Обработка полученных результатов

На основании полученных абсолютных значений выведенной активности ^{225}Ac , рассчитанных двумя разными методами, определяли процент активности радионуклида от введенной активности, приведенной к времени t_i .

Для сопоставления 2 методов оценки выведения ^{225}Ac с мочой пациента сравнивались относительные значения выведенной активности, полученные на основании сцинтиграфии пациентов и радиометрии проб мочи, полученные после РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE.

Чтобы оценить, не влияют ли предыдущие введения РФЛП на выведение ^{225}Ac в последующие эпизоды курса лечения, пациенты объединялись в группы по эпизодам терапии. В 1-ю группу вошли пациенты с первым введением препарата в рамках курса РНТ, во 2-ю – пациенты, которым выполнялось второе введение РФЛП, в 3-ю группу вошли пациенты, которым выполнялось 3 и более 3 введений РФЛП (остальные введения). Разделение по группам пациентов на основании числа введений представлено в таблице 2. Между группами пациентов, сформированных по числу введений РФЛП, производилась проверка на наличие статистически значимых различий в выведении.

Таблица 2
Разделение пациентов по группам
[Table 2
Separation of patients into groups]

1 введение [1 injection]	2 введение [2 injection]	Остальные введения [other injections]
1-1	1-2	1-3
2-1	2-2	1-4
3-1	4-2	1-5
4-1	5-2	2-3
5-1	6-2	2-4
6-1		2-5
		4-3
		4-4
		5-3

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Statistica 12. Проверка распределений данных внутри группы на нормальность проводилась с использованием теста Колмогорова – Смирнова (с поправкой на значимость Лиллефорса). Взаимосвязь между различными показателями оценивали с использованием метода ранговой корреляции Спирмена. Сравнение выборок данных проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием критериев Краскелла – Уоллиса и медианного теста. При подтверждении различий между выборками в дальнейшем проводилось попарное сравнение выборок с использованием теста Манна – Уитни. Для всех тестов различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты определения удельной активности ^{225}Ac в пробах мочи для пациентов, проходивших ПНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE, представлены на рисунке 1. Результаты демонстрируют, что максимальные значения удельных активностей в моче пациентов наблюдались в первые 4 ч после введения препарата. Объем выведенной мочи за первые 4 ч варьировал от 300 до 840 мл при медианном значении 530 мл.

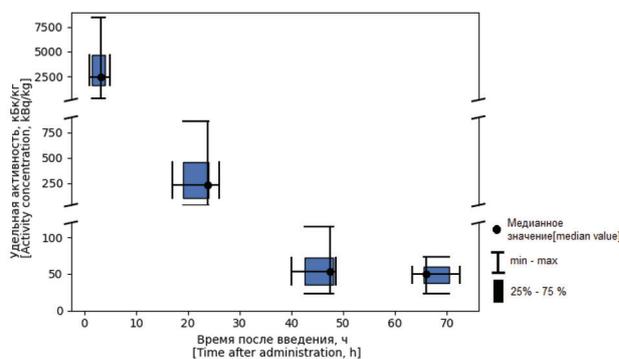


Рис. 1. Удельная активность ^{225}Ac в моче пациентов после прохождения радионуклидной терапии с ^{225}Ac -DOTA-TATE
[Fig. 1. Activity concentration of ^{225}Ac in the urine of patients after radionuclide therapy with ^{225}Ac -DOTA-TATE]

Полученные данные о выведении активности ^{225}Ac после введения ^{225}Ac -DOTA-TATE за первые 4 ч, 1, 2 и 3 сут, определенные двумя методами, представлены в таблице 3. Сравнение результатов о выведении активности ^{225}Ac из организма пациентов, полученных методом радиометрии проб мочи и сцинтиграфии пациентов, представлено на рисунке 2 и в таблице 4.

Таблица 3
Выводимая активность ^{225}Ac по результатам радиометрии проб и сцинтиграфии пациентов после ПНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE
[Table 3
Excreted activity of ^{225}Ac according to the results of radiometry of samples and scintigraphy of patients after radionuclide therapy with ^{225}Ac -DOTA-TATE]

Пациент-номер введения [Patient-injection number]	Сцинтиграфия [Scintigraphy]				Пробы мочи [Samples]			
	4 ч [4 hours]	1 сут [1 day]	2 сут [2 day]	3 сут [3 day]	4 ч [4 hours]	1 сут [1 day]	2 сут [2 day]	3 сут [3 day]
Активность, кБк [Activity, kBq]								
1-1	1375	2038	д/о	8	1182	2344	80	77
1-2	1682	2476	4	22	2188	3522	66	111
1-3	1393	1602	230	140	868	1418	72	51
1-4	1414	2144	78	28	977	1219	82	34
1-5	1507	2247	65	29	1631	2100	147	д/о
2-1	1733	2345	15	22	1767	2176	72	107
2-2	1945	2524	22	37	1834	2260	73	48
2-3	2125	2582	49	17	1489	1788	86	79
2-4	2265	2984	73	31	2878	3066	73	д/о
2-5	2572	3239	41	38	3292	3533	73	д/о
3-1	958	1407	166	28	599	1149	196	101

Пациент-номер введения [Patient-injection number]	Сцинтиграфия [Scintigraphy]				Пробы мочи [Samples]			
	4 ч [4 hours]	1 сут [1 day]	2 сут [2 day]	3 сут [3 day]	4 ч [4 hours]	1 сут [1 day]	2 сут [2 day]	3 сут [3 day]
	Активность, кБк [Activity, kBq]							
4-1	2259	2981	51	46	1692	1972	49	д/о
4-2	2272	2978	52	55	1605	1743	60	д/о
4-3	1854	2436	85	42	2025	2229	95	98
5-1	1428	1930	62	17	1099	1573	50	д/о
5-2	1203	1500	99	45	1220	1391	95	75

д/о – данные отсутствуют [д/о – no data].

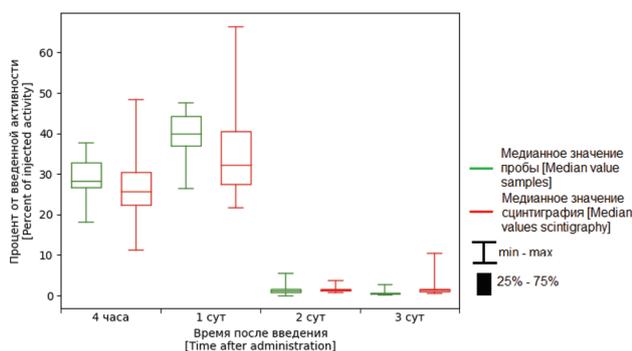


Рис. 2. Сравнение выборок значений выводимой активности ^{225}Ac , полученных методом отбора проб мочи и методом сцинтиграфии пациентов после введения им ^{225}Ac -DOTA-TATE [Fig. 2. Comparison of samples of ^{225}Ac excreted activity values obtained by sampling and scintigraphy of patients after injection of ^{225}Ac -DOTA-TATE]

Таблица 4

Результаты сравнения выборок значений выводимой активности ^{225}Ac , полученных методом отбора проб мочи и методом сцинтиграфии пациентов после введения им ^{225}Ac -DOTA-TATE. Сравнение двух выборок проводилось с использованием теста Манна – Уитни

[Table 4

Results of comparison of samples of ^{225}Ac excreted activity values obtained by sampling and scintigraphy of patients after administration of ^{225}Ac -DOTA-TATE. The comparison was made using the Mann – Whitney test]

Время после введения РФЛП [Time after injection]	P-критерий* [P-value]
4 ч [4 hours]	0,18
1 сут [1 day]	0,06
2 сут [2 day]	0,16
3 сут [3 day]	0,0007

* – критерий значимости различий [criterion of significance].

Определение активности ^{225}Ac в биологических отходах пациентов после РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE показало, что максимальные активности выводились в первые 4 ч после введения РФЛП. Результаты, представленные в таблице 3 и на рисунке 2, показывают, что большая часть активности, выводимой за 1-е сутки, выводится в первые 4 ч (в среднем

75% выводится в первые 4 ч, оставшиеся 25% – за остальные 20 ч). На 2-е и 3-и сутки выводились незначительные активности ^{225}Ac -DOTA-TATE (менее 5% от выведенной за 1-е сутки). Полученные в настоящей работе значения выведенной активности за 1-е, 2-е и 3-и сутки могут быть занижены за счет методики их оценки, которая основана на удельной активности, определенной в конце суток, и принятого за эталон суточного объема мочи (1,5 л для женщин), она не учитывает промежуточные значения удельной активности радионуклида в моче и возможность повышенной частоты мочеиспускания, связанной с внутривенными капельницами. Это наиболее значимо для 1-х и 2-х суток, когда удельная активность ^{225}Ac в моче значительно варьирует в течение суток (см. рис. 1).

Как следует из таблицы 4, статистически значимые различия между двумя методами определения активности ^{225}Ac наблюдались только для 3-х суток после введения препарата, что объясняется низкими уровнями остаточной активности в очагах и, как следствие, возможной высокой погрешностью при описании результатов сцинтиграфии. Отсутствие различий между методами позволяет использовать методы непрямой радиометрии для оценки выведения радионуклидов из организма пациентов, что позволяет существенно упростить проведение последующих экспериментальных работ. Дальнейшие работы авторов будут посвящены совершенствованию методов описания результатов сцинтиграфических изображений.

Результаты сравнения значений выведенной активности ^{225}Ac между выборками пациентов с повторными эпизодами терапии (первым, вторым или третьим введением РФЛП) из таблицы 2 для препаратов ^{225}Ac -DOTA-TATE представлены в таблице 5.

Как показано в таблице 5, отсутствие статистически значимых различий в выведении ^{225}Ac между выборками пациентов с повторными курсами терапии (первым, вторым или третьим введением РФЛП) позволяет в дальнейшем не учитывать данный показатель при оценке результатов экспериментальных работ.

К сожалению, провести сравнение с другими опубликованными экспериментальными данными не представляется возможным в связи с тем, что такие данные по выведению ^{225}Ac -DOTA-TATE отсутствуют. Однако в работах, посвященных изучению биораспределения РФЛП ^{177}Lu -DOTA-TATE, показано, что за первые 4 ч выводится от 29% до 42%, за первые сутки выведение варьирует от 38% до 85%, за первые 48 ч – от 65% до 90% [12–14].

Таблица 5
Результаты сравнения значений активности ^{225}Ac между выборками пациентов из таблицы 2 для препаратов ^{225}Ac -DOTA-TATE. Сравнение проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием критериев Краскелла – Уоллиса и медианного теста

[Table 5
Results of comparison of ^{225}Ac activity values between patient groups from Table 2. The comparison was made using the Kruskal – Wallis criteria and the Median test]

Время после введения [Time after injection]	P-критерий [P-value]
4 ч [4 hours]	0,759
1 сут [1 day]	0,551
2 сут [2 day]	0,477
3 сут [3 day]	0,256

* – критерий значимости различий [criterion of significance].

В исследованиях отмечается высокая вариабельность значений выведения РФЛП из организма пациентов, связанная с индивидуальными особенностями пациентов. В данном исследовании представлены первые результаты оценки выводимой активности ^{225}Ac после РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE, которые соотносятся с данными для препарата ^{177}Lu -DOTA-TATE.

Заключение

В данном исследовании представлены первые данные о выведении активности ^{225}Ac для пациентов, проходящих радионуклидную терапию с ^{225}Ac -DOTA-TATE. Значения активности были определены методами прямой радиометрии проб мочи и радиометрии пациентов с помощью получения планарных скинтиграфических сканирований всего тела пациентов в различные временные точки: 4 ч после введения препарата, 1-е, 2-е и 3-и сутки после введения. Результаты работы показали, что при РНТ с ^{225}Ac -DOTA-TATE максимальное выведение активности было зафиксировано за первые 4 ч после введения препарата.

Статистически значимые различия между активностями ^{225}Ac , определенными методами прямой и непрямой радиометрии, наблюдались только на 3-и сутки после введения препарата. Также отсутствовали статистически значимые различия в выведении ^{225}Ac между выборками пациентов с различными курсами терапии (первым, вторым или третьим введением РФЛП). Следующие работы авторов будут направлены на увеличение выборок пациентов и на совершенствование методики оценки активности по результатам анализа скинтиграфических изображений.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – сбор исходного материала, обработка экспериментальных данных, подготовка драфта публикации.

Водоватов А.В. – рецензирование, работа с текстом публикации, подготовка финального варианта публикации для отправки в журнал.

Мосунов А.А. – сбор исходного материала, обработка экспериментальных данных, подготовка драфта публикации, оформление статьи по требованиям журнала.

Сапрыкин К.А. – проведение гамма-спектрометрии отобранных биологических проб пациентов.

Громов А.В. – проведение гамма-спектрометрии отобранных биологических проб пациентов.

Васильев С.К. – проведение гамма-спектрометрии отобранных биологических проб пациентов.

Петрякова А.В. – обработка результатов исследования, работа над черновиком публикации.

Важенина Д.А. – введение препарата пациентам, отбор биологических проб, проведение сканирования пациентов на ОФЭКТ, помощь в обработке результатов, редактирование драфта публикации.

Одинцова М.В. – введение препарата пациентам, отбор биологических проб, проведение сканирования пациентов на ОФЭКТ, помощь в обработке результатов, редактирование драфта публикации.

Номоконова Валерия Борисовна – введение препарата пациентам, отбор биологических проб, проведение сканирования пациентов на ОФЭКТ, помощь в обработке результатов, редактирование драфта публикации.

Станжевский А.А. – работа с текстом статьи, анализ и интерпретация результатов.

Майстренко Д.Н. – работа с текстом статьи, анализ и интерпретация результатов.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность рецензентам за внимательный разбор работы и помощь в интерпретации результатов.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

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

Литература

1. Wambersie A. ICRU report 62, prescribing, recording and reporting photon beam therapy (supplement to ICRU Report 50) // ICRU News. 1999.
2. Майстренко Д.Н., Станжевский А.А., Важенина Д.А., и др. Радиолигандная терапия препаратами на основе радионуклида ^{225}Ac : опыт Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова // Лучевая диагностика и терапия. 2022. Т. 13, № 4. С. 86-94. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-86-94>.
3. Rubira L, Deshayes E, Santoro L, Kotzki PO. ^{225}Ac -Labeled Somatostatin Analogs in the Management of Neuroendocrine Tumors: From Radiochemistry to Clinic // Pharmaceutics. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1051.
4. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann ICRP/ 2019. 48(2-3).
5. Occupational intakes of radionuclides: part 3. ICRP publication 137. Ann ICRP/ 2017. 46(3-4).
6. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрякова А.В., и др. Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 34-44. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44>.

7. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 19-30. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
8. Петрова А.Е., Чипига Л.А., Водоватов А.В., и др. Оценка поглощенных доз в органах пациентов от высвобожденного радионуклида-метки при проведении радионуклидной терапии с ^{225}Ac // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15 №1. С. 120-131. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-120-131>.
9. Benabdallah N, Scheve W, Dunn N, Silvestros D, Schelker P, Abou D, et al. Practical considerations for quantitative clinical SPECT/CT imaging of alpha particle emitting radioisotopes // Theranostics. 2021. Vol. 11 №20. P. 9721.
10. Лопаткин Н.А. Урология: Национальное руководство. Краткое издание. Под ред. Н.А. Лопаткина. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 608 с.
11. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenböck SM, Stegger L. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ^{177}Lu -PSMA-targeted therapies // EJNMMI research. 2018. Vol. 8. С. 1-11.
12. Чипига Л.А., Звонова И.А., Водоватов А.В., и др. Совершенствование подхода к определению радиологических критериев выписки пациентов после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 19-31. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31>.
13. Wehrmann C, Stefan S, Zachert C, Müller D. Results of individual patient dosimetry in peptide receptor radionuclide therapy with ^{177}Lu DOTA-TATE and ^{177}Lu DOTA-NOC // Cancer biotherapy & radiopharmaceuticals. 2007. Vol. 22 №3. P. 406-416.
14. Levart D, Kalogianni E, Corcoran B, Mulholland N. Radiation precautions for inpatient and outpatient ^{177}Lu -DOTATATE peptide receptor radionuclide therapy of neuroendocrine tumours // EJNMMI physics. 2019. Vol. 6 №1. P. 1-12.

Поступила: 23.07.2023 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

ORCID 0000-0001-9153-3061 SPIN 3920-7798

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

ORCID 0000-0002-5191-7535

Мосунов Артём Алексеевич – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 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

ORCID 0000-0003-2387-7051 SPIN 1950-9242

Громов Алексей Валерьевич – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией аварийного реагирования 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

ORCID 0000-0003-2149-0822 SPIN 7536-0928

Васильев Сергей Константинович – кандидат физико-математических наук, ведущий инженер-исследователь 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; ведущий научный сотрудник, АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»; Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0002-3510-2336

Петрякова Анастасия Валерьевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника 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; инженер по радиационной безопасности Городской больницы № 40 Курортного административного района, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0003-2663-9091

Важенина Дарья Андреевна – доктор медицинских наук, врач-радиолог лаборатории изотопных методов исследования, главный научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения России, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0002-6236-709X SPIN 2411-6704

Одинцова Мария Викторовна – кандидат медицинских наук, заведующая радиотерапевтическим отделением №1 (дневной стационар) с группой радионуклидной терапии Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения России, Санкт-Петербург, Россия
ORCID 0000-0003-1795-6933

Номоконова Валерия Борисовна – врач-онколог радиотерапевтического отделения №1 (дневной стационар) с группой радионуклидной терапии Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения России, Санкт-Петербург, Россия
ORCID 0000-0001-5336-8341 SPIN 3614-6669

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 России, Санкт-Петербург, Россия
ORCID 0000-0002-1630-0564 SPIN 4025-4260

Майстренко Дмитрий Николаевич – доктор медицинских наук, директор Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения России, Санкт-Петербург, Россия
ORCID 0000-0001-8174-7461 SPIN 70 7363-4840

Для цитирования: Чипига Л.А., Водоватов А.В., Мосунов А.А., Сапрыкин К.А., Громов А.В., Васильев С.К., Петрякова А.В., Важенина Д.А., Одинцова М.В., Номоконова В.Б., Станжевский А.А., Майстренко Д.Н. Предварительная оценка выведения ^{225}Ac у пациентов, проходящих радионуклидную терапию с ^{225}Ac -DOTA-TATE // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 46-55. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-46-55

Preliminary assessment of ^{225}Ac excretion in patients undergoing radionuclide therapy with ^{225}Ac -DOTA-TATE

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Artem A. Mosunov⁵, Kirill A. Saprykin¹, Alexey V. Gromov¹, Sergey K. Vasiliev^{1,6}, Anastasia V. Petryakova^{1,7}, Daria A. Vazhenina², Maria V. Odintsova², Valeria B. Nomokonova², Andrey A. Stanzhevsky², Dmitry N. Maistrenko²

¹Saint-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

²A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

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

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

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

⁶Leading Researcher Radium Institute named after V.G. Khlopin JOINT-STOCK COMPANY, Saint-Petersburg, Russia

⁷The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint-Petersburg, Russia

The aim of this study was to evaluate the activity of ^{225}Ac in urine of patients undergoing radionuclide therapy with ^{225}Ac -DOTA-TATE. Activity concentration was determined in the urine samples collected within 72 hours after injection of ^{225}Ac -DOTA-TATE, using the ORTEC semiconductor gamma spectrometer, model TSP-DX-100T-PAC-PKG-1. Calculation of excreted activities was additionally performed based on scintigraphy scans of patients receiving ^{225}Ac -DOTA-TATE. Scans were conducted 5 times for each patient: immediately after injection, at 4 hours, and on the 1st, 2nd, and 3rd days after injection of the radiopharmaceutical. Absolute activity values and fractions of the injected activity were calculated based on the specific activity values. The results of the calculated activity concentration values demonstrate that maximum excretion was observed within the four hours after ^{225}Ac -DOTA-TATE injection. Significant differences between the two methods of determining ^{225}Ac activity were observed only on the third day after radiopharmaceutical injection, which allows for the simplification of future experimental work by using indirect radioactivity measurement

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

methods for activity calculations. There were no significant differences between patient groups with different number of ^{225}Ac -DOTA-TATE injection, which allows for the exclusion of this parameter in the evaluation of experimental results. The results of this study represent the first published experimental data on the determination of actinium excretion in patients.

Key words: radionuclide therapy, ^{225}Ac -DOTA-TATE, biological breeding.

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

Chipiga L.A. – collection of source material, processing of experimental data, preparation of draft publication.

Vodovатов A.V. – reviewing, working with the text of the publication, preparing the final version of the publication for submission to the journal.

Mosunov A.A. – collection of source material, processing of experimental data, preparation of draft publication.

Saprykin K.A. – gamma spectrometry of selected biological samples of patients.

Gromov A.V. – gamma spectrometry of selected biological samples of patients.

Vasiliev S.K. – gamma spectrometry of selected biological samples of patients.

Petryakova A.V. – processing of research results, work on a draft of the publication.

Vazhenina D.A. – radiopharmaceutical injection to patients, biological sampling, SPECT scanning of patients, assistance in processing the results, editing the publication draft.

Odintsova M.V. – radiopharmaceutical injection to patients, biological sampling, SPECT scanning of patients, assistance in processing the results, editing the publication draft.

Nomokonova V.B. – radiopharmaceutical injection to patients, biological sampling, SPECT scanning of patients, assistance in processing the results, editing the publication draft.

Stanzhevsky A.A. – work with the text of the article, analysis and interpretation of the results.

Maystrenko D.N. – work with the text of the article, analysis and interpretation of the results.

Acknowledgments

The authors would like to thank reviewers for a thoughtful analysis of the study and assistance in interpreting the results.

Information about the conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Information about the source of funding

The work was performed as part of the research project "Development and scientific substantiation of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine."

References

1. Wambersie A. ICRU report 62, prescribing, recording and reporting photon beam therapy (supplement to ICRU Report 50). *ICRU News*, 1999.
2. Maystrenko DN, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, Odintsova MV, Popov SA, Nomokonova VB, et al. Radioligand therapy with drugs based on radionuclide ^{225}Ac : experience of A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies. *Lučevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2022;13(4): 86-94. (In Russian) <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2022-13-4-86-94>.
3. Rubira L, Deshayes E, Santoro L, Kotzki PO. ^{225}Ac -Labeled Somatostatin Analogs in the Management of Neuroendocrine Tumors: From Radiochemistry to Clinic. *Pharmaceutics*. 2023;15(4):1051.
4. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. *Annals of the ICRP*. 2019. 48(2-3).
5. Occupational Intakes of Radionuclides: part 3. ICRP publication 137. *Annals of the ICRP*. 2017. 46(3-4).
6. Chipiga LA, Vodovатов AV, Petryakova AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Maistrenko DN, et al. Justification of differential approach to management of patient biological waste in nuclear medicine departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 34-44. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44>.
7. Chipiga LA, Vodovатов AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Petryakova AV, Anokina EE, et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(2): 19-30. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
8. Petrova AE, Chipiga LA, Vodovатов AV, Stanzhevsky AA, Maystrenko DN, Lumpov AA, et al. Estimation of absorbed doses in patients' organs from the released radionuclide-label during radionuclide therapy with ^{225}Ac . *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 120-131. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-120-131>.
9. Benabdallah N, Scheve W, Dunn N, Silvestros D, Schelker P, Abou D, et al. Practical considerations for quantitative clinical SPECT/CT imaging of alpha particle emitting radioisotopes. *Theranostics*. 2021;11(20):9721.
10. Lopatkin NA. *Urology: National Guide. Short edition*. Moscow: GEOTAR-Media; 2013. 608 p.
11. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenck SM, Stegger L. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ^{177}Lu -PSMA-targeted therapies. *EJNMMI research*. 2018;8:1-11.
12. Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovатов AV, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, et al. Improvement of the approach to definition of patient release criteria after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 19-31. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31>.
13. Wehrmann C, Stefan S, Zachert C, Müller D. Results of individual patient dosimetry in peptide receptor radionuclide therapy with ^{177}Lu DOTA-TATE and ^{177}Lu DOTA-NOC. *Cancer biotherapy & radiopharmaceuticals*. 2007;22(3): 406-416.
14. Levart D, Kalogianni E, Corcoran B, Mulholland N. Radiation precautions for inpatient and outpatient ^{177}Lu -DOTATATE peptide receptor radionuclide therapy of neuroendocrine tumours. *EJNMMI physics*. 2019;6(1): 1-12.

Received: July 23, 2023

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 Well-Being; 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)

ORCID 0000-0001-9153-3061 SPIN 3920-7798

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 Well-Being; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Artem A. Mosunov – student in Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Kirill A. Saprykin – Senior Researcher Head of the Laboratory for Dosimetry of Natural Sources 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

ORCID 0000-0003-2387-7051 SPIN 1950-9242

Alexey V. Gromov – Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, head of emergency response 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

ORCID 0000-0003-2149-0822 SPIN 7536-0928

Sergey K. Vasiliev – Leading Engineer-researcher of external exposure 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, Ph.D. Leading Researcher Radium Institute named after V.G. Khlopin JOINT-STOCK COMPANY; Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-3510-2336

Anastasia V. Petryakova – acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; radiation safety engineer, Saint-Petersburg City Hospital No. 40, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2663-9091>

Daria A. Vazhenina – Dr. of Sci (Med.), Radiologist Laboratory of Isotope Research Methods, Chief Researcher A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-6236-709X SPIN 2411-6704

Maria V. Odintsova – Cand. of Sci. (Med.), Head of radiotherapy department №1 (day hospital) with the radionuclide therapy group Russian Scientific Center for A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0003-1795-6933

Valeria B. Nomokonova – oncologist of the radiotherapy department №1 (day hospital) with the radionuclide therapy group A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0001-5336-8341 SPIN 3614-6669

Andrey A. Stanzhevsky – Dr. of Sci (Med.), 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

ORCID 0000-0002-1630-0564 SPIN 4025-4260

Dmitry N. Maystrenko – Dr. of Sci (Med.), Head of A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0001-8174-7461 SPIN 70 7363-4840

For citation: Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Mosunov A.A., Saprykin K.A., Gromov A.V., Vasiliev S.K., Petryakova A.V., Vazhenina D.A., Odintsova M.V., Nomokonova V.B., Stanzhevsky A.A., Maistrenko D.N. Preliminary assessment of ²²⁵Ac excretion in patients undergoing radionuclide therapy with ²²⁵Ac-DOTA-TATE. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 46-55. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-46-55

Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения

Часть 2: Гигиеническая оценка доз облучения и радиационных рисков в зависимости от средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений

А.С. Васильев

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

На протяжении многих лет основным дозообразующим фактором для населения является внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе помещений. В статье приведены результаты гигиенической оценки доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в различных сценариях облучения, а также предложена методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий. 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, выполненных в режиме нормальной эксплуатации зданий, составили от 0,1 до 3,7 мЗв/год для разных учреждений. Однако при расчете аналогичных доз облучения на основе результатов интегральных измерений объемной активности радона были получены значения до 10 раз выше (от 0,2 до 22,9 мЗв/год), а при использовании результатов экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, выполненных после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях при вынужденном использовании МУ 2.6.1.2838-11, — до 7 раз выше (от 0,1 до 13,5 мЗв/год), что не соответствует реальному сценарию облучения. Таким образом, при неправильном выборе средств или подходов к измерению содержания радона в воздухе облучение обучающихся и сотрудников некоторых обследованных детских учреждений, даже без учета вклада других природных источников ионизирующего излучения, может классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010 не как приемлемое, а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) или даже как высокое (более 10 мЗв/год). Значение среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений детских учреждений экспрессным методом, выполненных в режиме нормальной эксплуатации зданий) для обучающихся и сотрудников обследованных детских учреждений составило от $1,6 \cdot 10^{-4}$ до $1,4 \cdot 10^{-3}$, а использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений детских учреждений с помощью других методов или подходов, как правило, не приводило к существенному увеличению показателей риска, однако в некоторых случаях сопровождалось изменением в ранжировании показателя риска. 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 для здоровья населения.

Ключевые слова: радон, дочерние продукты распада, внутреннее облучение, индивидуальные годовые эффективные дозы, радиационные риски, общественные здания, детские учреждения.

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

В Указе Президента¹ РФ от 2018 г. ставится задача по «совершенствованию государственного контроля (надзора) за воздействием на здоровье человека природных источников ионизирующего излучения, в том числе радона и продуктов его распада, в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях».

Как авторитетные международные организации (ВОЗ, МКРЗ, МАГАТЭ), так и российские уделяют большое внимание радоновой проблеме, поскольку наибольший вклад в индивидуальную годовую эффективную дозу внутреннего облучения (далее – дозу облучения) населения, которую люди получают от всех источников ионизирующего излучения (ИИИ), включая медицинские и техногенные (при отсутствии радиационных аварий и инцидентов), вносят изотопы радона [1–5]. В структуре доз облучения населения РФ за счет всех природных источников иони-

зирующего излучения (ПИИИ) вклад изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) составляет почти 60% (рис. 1) [5].

Средние дозы облучения населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона по данным измерений за период с 2001 по 2021 г., составляют 1,73 и 1,92 мЗв/год соответственно [5].

Дозы облучения обучающихся и сотрудников детских учреждений (ДУ), как правило, больше зависят от уровня содержания радона в воздухе помещений ДУ, которые сильно варьируются в течение дня. Суточный ход содержания радона в ДУ напрямую связан в том числе с кратностью и длительностью проведения проветриваний помещений (учебных кабинетов, зон рекреации и т.д.), закрепленных в санитарном законодательстве РФ^{2,3,4}. Кроме того, необходимость соблюдения режима проветривания помещений ДУ в осенне-зимний период обусловлена проведением ежегодного комплекса меро-

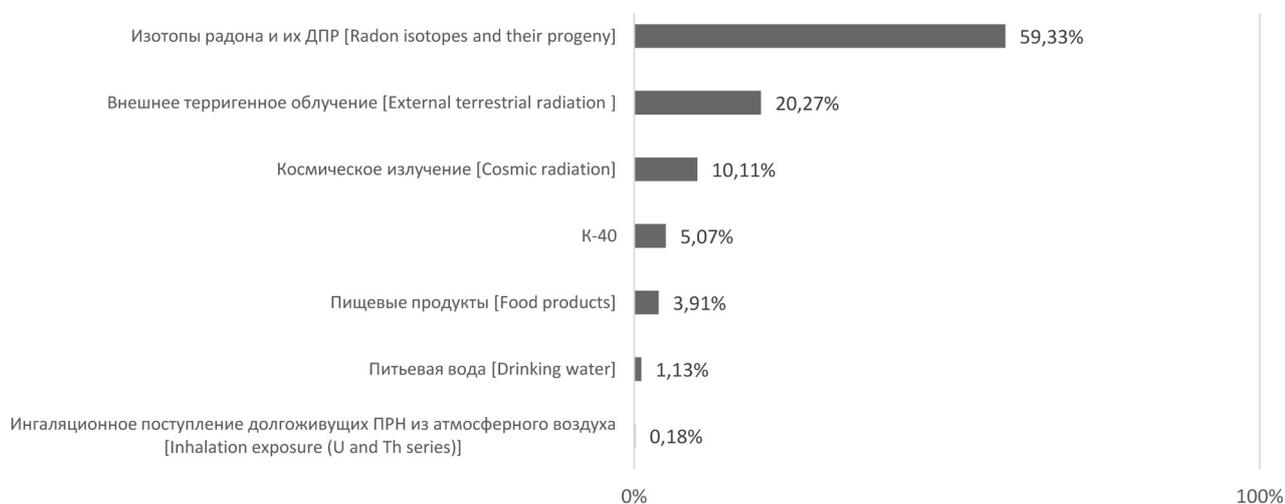


Рис. 1. Структура средней индивидуальной годовой эффективной дозы природного облучения населения РФ за 2001–2021 гг.

[Fig. 1. The structure of the average individual annual effective dose from natural sources of radiation to the population of the Russian Federation in 2001–2021]

¹ Указ Президента РФ от 13.10.2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [Decree of the President of the Russian Federation on 13.10.2018 No. 585 “On the establishment of the Principles of the governmental policy in the field of the provision of the nuclear and radiation safety of the Russian Federation up to 2025 and for the later perspective”. (In Russ.)]

² 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.)]

³ 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) [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.)]

⁴ 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.)]

приятный по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций⁵.

Использование в рамках контрольно-надзорных мероприятий существующей методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений зданий после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции⁶ из-за отсутствия других утвержденных методических указаний (рекомендаций) при радиационном контроле содержания радона в воздухе эксплуатируемых общественных зданий приводит к получению более высоких результатов измерений, так как согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 в помещениях перед измерением необходимо закрыть все окна и двери не менее чем на 12 ч, что, несомненно, не соответствует реальной ситуации облучения в таких зданиях [6–7].

Сложившаяся ситуация серьезно затрудняет организацию и проведение обследований эксплуатируемых ДУ, снижает качество и достоверность получаемой информации как о реальных уровнях содержания радона в воздухе помещений, так и о дозах облучения и радиационных рисках.

Цель исследования – дать гигиеническую оценку дозам облучения и радиационным рискам у обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона на основании результатов собственных обследований ДУ с применением различных средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе для разработки методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий.

Материалы и методы

Расчет доз облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР, а также показателей радиационного риска осуществлялся для обучающихся и сотрудников ДУ, расположенных на территориях некоторых районов Ленинградской области, являющихся радоноопасными по геологическим и геофизическим причинам [3, 8–9], с использованием измерительных данных, опубликованных в первой части статьи [10]. На рисунке 2 приведена карта Ленинградской области, на которой отмечено рас-

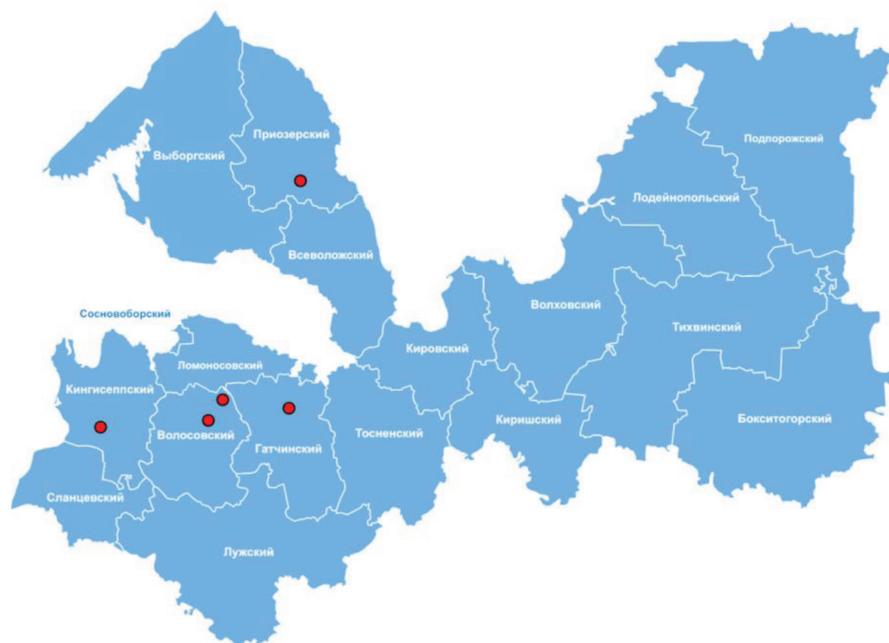


Рис. 2. Карта Ленинградской области с отмеченными населенными пунктами, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ в 2022 г.

[Fig. 2. Map of the Leningrad region with marks indicating settlements where radon surveys were conducted in 2022]

⁵ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.07.2022 г. № 20 «О мероприятиях по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций в эпидемическом сезоне 2022–2023 годов» (Зарегистрировано в Минюсте России 22.08.2022 г. № 69712) [Decree of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.07.2022 No. 20 “About measures for the prevention of influenza and acute respiratory viral infections in the epidemic season of 2022-2023” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 22.08.2022 No. 69712). (In Russ.)]

⁶ 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. (далее – МУ 2.6.1.2838-11). [Radiation control and sanitary-epidemiological evaluation of residential, public and industrial buildings and facilities after finishing their construction, capital repair, reconstruction. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011 (hereinafter – MU 2.6.1.2838-11). (In Russ.)]

⁷ 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.)]

положение обследованных ДУ, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений различными методами в 2022 г.

Дозы облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР рассчитывались согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.1088-02⁷ и рекомендациям МР 2.6.1.0088-14⁸ с использованием дозового коэффициента $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³) [11, 12]. 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) [11, 12], значение итогового дозового коэффициента составило $9,45 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³). Показатели радиационного риска были рассчитаны согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.014519⁹. Детальное описание расчетов и формулы представлены в более ранней публикации [7]. Поскольку дозы облучения и радиационные риски были рассчитаны не для всех жителей обследованных населенных пунктов или районов, а для конкретной когорты населения (обучающихся и сотрудников ДУ), в расчетах для получения консервативной оценки в качестве меры центральной тенденции были использованы медианные значения содержания радона, полученные по реальным выборкам, которые, как правило, несколько превышают значения среднего геометрического, ожидаемого из подобранного распределения.

Для перехода от измеренных значений ОА радона к ЭРОА радона использовалось значение коэффициента радиоактивного равновесия между радонем и его ДПР $F_{Rn}=0,5$ для воздуха помещений и $F_{Rn}=0,6$ для атмосферного воздуха.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты расчета доз облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ.

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 экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами), мЗв/год

[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, short-term and long-term measurements), mSv/year]

Детское учреждение, населенный пункт [Educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]	$R_{12-h/l}$ норм. ед. [rel. un.]	$R_{S/l}$ норм. ед. [rel. un.]	$R_{L/l}$ норм. ед. [rel. un.]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]					
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	13,5	2,2	–	22,9	6	–	10
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	2,6	1,0	–	3,4	3	–	3
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	2,8	0,4	–	3,5	7	–	9
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	0,2	0,1	–	0,5	2	–	5
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten, Sosnovo]	1,5	0,3	–	2,2	5	–	7

⁸ 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.)]

⁹ 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.)]

Детское учреждение, населенный пункт [Educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]	$R_{12-h/l}$ ^{norm.} отн. ед. [rel. un.]	$R_{S/l}$ ^{norm.} отн. ед. [rel. un.]	$R_{L/l}$ ^{norm.} отн. ед. [rel. un.]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]					
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	11,0	3,7	5,8	16,7	3	2	5
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	4,6	2,4	2,3	6,4	2	1	3

12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами; н/э – экспрессное измерение в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{12-h/l}$ ^{norm.} – отношение значения средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами, к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{S/l}$ ^{norm.} – отношение значения средней дозы облучения по результатам остальных ДУ квазиинтегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{L/l}$ ^{norm.} – отношение значения средней дозы облучения по результатам интегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ.
[12-h – instant measurements after 12 hours with closed doors and windows; Norm. – instant measurements in the normal operation mode of the building of educational institution; $R_{12-h/l}$ ^{norm.} – ratio of average dose calculated from the results of instant measurements taken after 12 hours with closed doors and windows to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution; $R_{S/l}$ ^{norm.} – ratio of average dose calculated from the results of short-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution; $R_{L/l}$ ^{norm.} – ratio of average dose calculated from the results of long-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution.]

Из таблицы 1 видно, что выбор того или иного подхода к измерению содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом оказывает сильное влияние на дозовую оценку облучения обучающихся и сотрудников ДУ, за исключением ДУ г. Кингисеппа, в которых были зарегистрированы очень низкие значения ЭРОА радона независимо от режима эксплуатации помещений (от 1 до 13 Бк/м³). Для остальных ДУ дозы облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ, рассчитанные на основе результатов экспрессных измерений ЭРОА радона в рабочее время, составили от 0,3 до 3,7 мЗв/год для разных ДУ. Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, т.е. при проведении измерений ЭРОА радона после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, дозы облучения были бы завышены от 2 до 7 раз и составили бы от 1,5 до 13,5 мЗв/год для разных ДУ. При вынужденном использовании МУ 2.6.1.2838-11 (из-за отсутствия других утвержденных методических указаний или рекомендаций по обследованию эксплуатируемых зданий) даже без учета вклада других ПИИИ, облучение некоторой когорты населения может классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010¹⁰ не как приемлемое (менее 5 мЗв/год), а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) и даже как высокое (более 10 мЗв/год), например, для воспитанников и сотрудников детского сада

д. Клопицы Волосовского района Ленинградской области и детского сада д. Большие Колпаны Гатчинского района Ленинградской области.

Дозы облучения при нахождении в помещениях ДУ, рассчитанные на основе результатов долгосрочных интегральных измерений ОА радона, составили от 0,2 до 22,9 мЗв/год для разных ДУ, то есть наблюдается завышение реальных доз облучения обучающихся и сотрудников ДУ, рассчитанных на основе результатов экспрессных измерений, выполненных в часы присутствия людей и наиболее объективно отражающих среднее значение содержания радона в воздухе помещений в рабочее время, от 2 до 10 раз с переходом в некоторых случаях от приемлемого уровня облучения к повышенному или высокому.

При использовании в расчетах результатов квазиинтегральных измерений ОА радона, дозы облучения обучающихся и сотрудников ДУ д. Большие Колпаны составляют от 2,3 до 5,8 мЗв/год для разных ДУ и превышают до 2 раз дозы облучения, рассчитанные с использованием результатов экспрессных измерений, выполненных в рабочее время. Однако результатов квазиинтегральных измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ было получено не так много, в связи с чем целесообразно продолжить исследование с применением данного метода.

На рисунке 3 представлена структура доз облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР, учитывающая не только нахождение людей в помещениях ДУ (на основе результатов измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе

¹⁰ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормы 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.)]

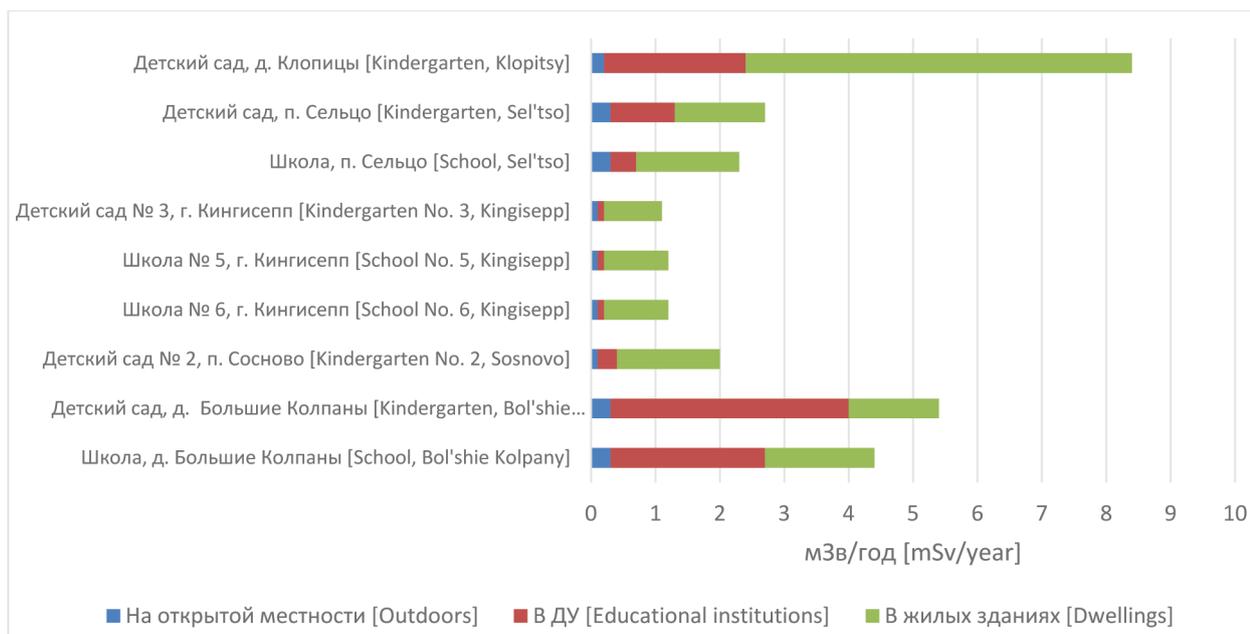


Рис. 3. Структура доз облучения обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР
[Fig. 3. Structure of doses to students (pupils) and employees of educational institutions from exposure to radon and its progeny]

помещений экспрессным методом в режиме нормальной эксплуатации здания), но также пребывание в жилых зданиях и вне помещений (на открытой местности).

Как видно из рисунка 3, наибольшая суммарная доза облучения за счет ингаляции изотопов радона была получена для обучающихся и сотрудников в д. Клопицы (8,4 мЗв/год) и д. Большие Колпаны (5,4 и 4,4 мЗв/год). В структуре доз облучения обучающихся и сотрудников в д. Клопицы наибольший вклад вносит пребывание дома, а не в помещениях ДУ, в связи с чем целесообразно уточнить уровни содержания радона в воздухе жилых домов жителей данного населенного пункта с вовлечением большего количества желающих (в данном исследовании было обследовано только 6 жилых домов сотрудников детского сада д. Клопицы). Во всех случаях наименьший вклад в дозу облучения вносит пребывание на открытом воздухе, так как выделяющийся с поверхности грунта радон быстро разбавляется атмосферным воздухом до незначительных уровней.

Сравнительный анализ показал, что доза облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР в детском саду д. Клопицы выше средней дозы облучения у населения Ленинградской области (1,92 мЗв/год [5]) и у населения Российской Федерации в целом (1,99 мЗв/год [5]) в 4 раза, в детском саду д. Большие Колпаны – в 3 раза, в школе д. Большие Колпаны – в 2 раза.

Вклад остальных ПИИИ в дозу облучения населения в Ленинградской области значительно меньше и составляет в сумме 1,54 мЗв/год (за счет 40К – 0,17 мЗв/год, космического излучения – 0,335 мЗв/год, внешнего терригенного облучения – 0,81 мЗв/год, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с пылью из атмосферного воздуха – 0,006 мЗв/год, перорального поступления природных радионуклидов при потреблении продуктов

питания и питьевой воды – 0,150 мЗв/год и 0,064 мЗв/год соответственно) [5].

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

Традиционно индивидуальные пожизненные риски смерти от радониндуцированного рака легкого остаются наиболее значимыми по сравнению с другими радиационными рисками для населения за счет различных ИИИ. Так, например, средний индивидуальный пожизненный риск от перорального поступления природных радионуклидов при потреблении продуктов питания и питьевой воды и средний риск за счет медицинского облучения на 1–2 порядка величины ниже и составляют $1,2 \cdot 10^{-5}$ и $1,4 \cdot 10^{-5}$ соответственно [7].

Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами вместо результатов экспрессных измерений, выполненных в часы работы ДУ, приводит к увеличению показателей радиационного риска от 1,5 до 2,4 раз (за исключением ДУ г. Кингисепп), а использование результатов измерения интегральным методом – от 1,1 до 3,5 раз. Однако для интерпретации показателей риска, являющихся вспомогательным инструментом, наиболее значимым является изменение в ранжировании показателя риска (переход с одного уровня на другой).

Результаты оценки рисков показали, что, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска при воздействии химических веществ и радона [3], облучение обучающихся и сотрудников ДУ п. Сельцо,

Таблица 2

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

[Table 2

Average individual lifetime risks of radon-induced lung cancer death for students (pupils) and employees of educational institutions (based on the results of instant measurements of radon EEC, short-term and long-term measurements of radon concentration)]

Детское учреждение, населенный пункт [educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]		
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	–	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	–	$8,1 \cdot 10^{-4}$
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	–	$8,7 \cdot 10^{-4}$
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	–	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	–	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	–	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten № 2, Sosnovo]	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	–	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; н/э – экспрессное измерение в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ.

[12-h – instant measurements after 12 hours with closed doors and windows; Norm. – instant measurements in the normal operation mode of the building of educational institutions.]

г. Кингисеппа и п. Сосново радоном и его ДПР (независимо от выбора метода измерения содержания радона в воздухе помещений или подхода к его измерению) является приемлемым для персонала и неприемлемым для населения в целом (III уровень, $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$), а облучение обучающихся и сотрудников ДУ д. Клопицы – неприемлемым ни для населения, ни для персонала (IV уровень, $R_i > 10^{-3}$). В данном исследовании наблюдается изменение в ранжировании показателя риска для обучающихся и сотрудников д. Большие Колпаны с III уровня на IV при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, результатов интегральных измерений или результатов квазиинтегральных измерений (в детском саду), вместо результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время, что в корне меняет стратегию разработки и проведения оздоровительных мероприятий по снижению риска.

Заключение

Неправильный выбор средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений ДУ из-за отсутствия утвержденного методического документа, регламентирующего процедуру радиационного контроля таких зданий, может приводить к получению некорректной измерительной информации и принятию на ее основе ошибочных управленческих решений.

При использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующем реальному сценарию облучения, возможные эффективные дозы обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях обследованных ДУ составили от 0,1 до 3,7 мЗв/год. Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, дозы облучения были бы завышены до 7 раз и составили бы от 0,1 до 13,5 мЗв/год для разных ДУ, а при использо-

вании результатов интегральных измерений – до 10 раз и составили бы от 0,2 до 22,9 мЗв/год для разных ДУ. То есть даже без учета вклада других ПИИИ, облучение некоторой когорты населения могло бы классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010 не как приемлемое (менее 5 мЗв/год), а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) и даже как высокое (более 10 мЗв/год), что, в свою очередь, могло стать причиной необоснованного проведения радонозащитных мероприятий в зданиях ДУ (согласно п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010), требующих, как правило, существенных финансовых затрат.

Традиционно индивидуальные пожизненные риски смерти от радон-индуцированного рака легкого остаются наиболее значимыми в сравнении с рисками от прочих вредных факторов окружающей среды как ионизирующей, так и неионизирующей природы, являющихся причинами легочного канцерогенеза. Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами вместо результатов экспрессных измерений, выполненных в часы работы ДУ, приводит к незначительному увеличению показателей радиационного риска до 2,4 раз, а использование результатов измерения интегральным методом – до 3,5 раз. В некоторых случаях (например, в ДУ д. Большие Колпаны) использование результатов иных методов или подходов к измерению содержания радона вместо результатов, полученных экспрессным методом в часы работы ДУ, сопровождается изменением в ранжировании показателя риска (переходу с одного уровня на другой), что в корне меняет стратегию разработки и проведения оздоровительных мероприятий по снижению риска.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, с целью получения наиболее приближенных к реальному сценарию облучения населения значений содержания радона в воздухе помещений, доз облучения и радиационных рисков, а также дальнейшего принятия эффективных управленческих решений, радиационный контроль содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых ДУ необходимо проводить с использованием многократных экспрессных измерений в режиме нормальной эксплуатации здания в будние дни в присутствии обучающихся и/или сотрудников (не менее чем через 1 ч после окончания проветривания помещений согласно штатному графику) или измерений с помощью мониторов радона при условии, что для расчета средней ОА радона будут использованы только результаты, полученные в рабочее время. При этом при использовании непрерывного метода для расчета нормируемого показателя (среднегодового значения ЭРОА изотопов радона) необходимо обязательно проводить измерение ЭРОА торона с помощью экспрессного метода в начале и конце пробоотбора. Пассивный интегральный метод ввиду его особенностей может быть использован при наличии соответствующих СИ лишь как скрининговый инструмент (первичный этап), позволяющий одновременно проводить массовые обследования эксплуатируемых ДУ в различных населенных пунктах (регионах), даже в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки на территории, что соответствует сделанному ранее выводу [6], а также согласуется с подходами зарубежных коллег [13–16].

Предложенная двухступенчатая методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий (школ, детских садов) основана на рекомендациях международных организаций, анализе научной литературы, а также стандартизированных протоколов проведения обследований ДУ на содержание радона в воздухе помещений некоторых зарубежных стран, являющихся государствами-членами МАГАТЭ, а самое главное – учитывает имеющийся парк СИ в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ.

МУ 2.6.1.2838-11, разработанные более 10 лет назад, не предназначены для обследования эксплуатируемых ДУ и подразумевают применение жесткого (консервативного) подхода к проведению радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений, не учитывающего фактическое время пребывания людей в таких зданиях. За прошедшее десятилетие опыт практического применения данного документа показал острую необходимость его переработки с расширением области применения или создания нового документа, регламентирующего порядок проведения радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий для корректной оценки доз облучения и радиационных рисков для здоровья населения.

Благодарности

Автор выражает благодарность руководству Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области за помощь в организации проведения измерений.

Автор также благодарен рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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. 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.
3. 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.
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. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р., др. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году: справочник. СПб, 2022. 72 с.
6. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений экс-

- плуатируемых 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. Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., и др. 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
 8. Бердников П.В., Горский А.В. Изучение радоноопасности территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области // АНРИ. 2008. № 2(53). С. 56–59.
 9. Горбанев С.А., Еремина Л.А., Курганов Н.Н. Основные направления взаимодействия Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области и Правительства Ленинградской области по обеспечению радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 1. С. 41–46.
 10. Васильев А.С. Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения. Часть 1: Результаты комплексного радиационного обследования // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 65–77. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77.
 11. 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.
 12. 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.
 13. Protocol for radon measurements in schools and kindergartens. The Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), 2015. 21 p. URL: <https://dsa.no/en/radon/radon-in-schools-and-kindergartens> (дата обращения: 01.02.2023).
 14. Bican-Brişan N., Dobrei G.-C., Burgehele B.-D., Cucuș (Dinu) A.-L. First Steps towards a National Approach for Radon Survey in Romanian Schools // Atmosphere. 2022. Vol. 13, No 1. P. 59. DOI: 10.3390/atmos13010059
 15. Kojo K., Turtiainen T., Holmgren O., Kurttio P. Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces // Health Physics. 2023. Vol. 0, No 0. – P. 10.1097. DOI: 10.1097/HP.0000000000001692.
 16. Guide for Radon Measurements in Public Buildings (Workplaces, Schools, Day Cares, Hospitals, Care Facilities, Correctional Centres). Health Canada, 2021. 19 p. URL: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/guide-radon-measurements-public-buildings-schools-hospitals-care-facilities-detention-centres.html> (дата обращения: 01.02.2023).

Поступила: 19.04.2023 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
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1277-3807>

Для цитирования: Васильев А.С. Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения. Часть 2: Гигиеническая оценка доз облучения и радиационных рисков в зависимости от средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 56-66. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-56-66

Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation Part 2: Hygienic assessment of doses and health risks depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration

Alexey S. Vasilyev

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 many years internal exposure to radon has been the main contributor to the annual dose to the population. The paper presents results of a hygienic assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions of the Leningrad region due to exposure to radon and its progeny, and also suggests the protocol for conducting measurements of indoor radon concentration in existing operated public buildings. 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 obtained in the normal operation mode of buildings ranged from 0.1 to 3.7 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 up to 10 times higher (from 0.2 to 22.9 mSv/year). Moreover, calculation on the basis of the results of instant measurements of radon EEC after leaving the premises for 12 hours with closed windows and doors according to the requirements of paragraph 6.5 of MU 2.6.1.2838-11 resulted in the dose values up to 7 times higher (from 0.1 to 13.5 mSv/year). Nevertheless, these high dose values do not reflect the real exposure scenario. According to the classification established in sanitary rules and norms OSPORB 99/2010, the exposure of students (pupils) and employees of several educational institutions can be classified as "increased" (from 5 to 10 mSv/year) or as "high" (more than 10 mSv/year) depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. The average individual lifetime risk of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of radon EEC obtained in the normal operation mode of buildings) for students (pupils) and employees of surveyed educational institutions ranged from $1.6 \cdot 10^{-4}$ to $1.4 \cdot 10^{-3}$. However, the usage of the results obtained with other methods and approaches to measuring indoor radon concentration, as a rule, did not lead to a significant increase in risk value, but in some cases it led to a change in the risk level category. The results of the assessment can be used to improve the method for indoor radon concentration monitoring in existing operated public buildings in the Russian Federation, which in turn will make it possible to obtain correct values of public doses and health risks.

Key words: radon, progeny, internal exposure, annual effective dose, radiation risk, public building, educational institution.

Acknowledgements

The author would like to thank the management of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad Region for assistance in organizing measurements.

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

Information on the conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

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. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43. 2014;3. 73 p.
3. 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).
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. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2021. St. Petersburg; 2022. 72 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*.

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

- 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian).
7. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kormanovskaya TA, Kononenko DV, Istorik OA, Eremina LA. 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; 15(2): 6–18. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18. (In Russian).
 8. Berdnikov PV, Gorky VA. Study of the radon hazard on the territory of St. Petersburg and the Leningrad region. *Association of science editors and publishers*. 2008;2(53): 56–59. (In Russian).
 9. Gorbanev SA, Eremina LA, Kurganov NN. The Main Trends of Interaction between the Administration of Rospotrebnadzor in the Leningrad Region and the Government of Leningrad Region in the field of population radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(1): 41–46. (In Russian).
 10. Vasilyev AS. Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation. Part 1: Results of a comprehensive survey. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 65–77. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77. (In Russian).
 11. 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.
 12. 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.
 13. Protocol for radon measurements in schools and kindergartens. The Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA); 2015. 21 p. Available from: <https://dsa.no/en/radon/radon-in-schools-and-kindergartens> [Accessed 01 Feb 2023].
 14. Bican-Brişan N, Dobrei G-C, Burgehele B-D, Cucoş (Dinu) A-L. First Steps towards a National Approach for Radon Survey in Romanian Schools. *Atmosphere*. 2022;13(1): 59. DOI: 10.3390/atmos13010059.
 15. Kojo K, Turtiainen T, Holmgren O, Kurttio P. Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces. *Health Physics*. 2023;0(0): 10.1097. DOI: 10.1097/HP.0000000000001692.
 16. Guide for Radon Measurements in Public Buildings (Workplaces, Schools, Day Cares, Hospitals, Care Facilities, Correctional Centres). Health Canada, 2021. 19 p. Available from: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/guide-radon-measurements-public-buildings-schools-hospitals-care-facilities-detention-centres.html> [Accessed 02 Feb 2023].

Received: April 19, 2023

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)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1277-3807>

For citation: Vasilyev A.S. Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation. Part 2: Hygienic assessment of doses and health risks depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 56-66. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-56-66

Российские системы поддержки принятия врачебных решений в лучевой диагностике как элемент обеспечения радиационной безопасности пациентов

З.А. Лантух¹, М.П. Шатёнок¹, Ю.В. Дружинина^{1,2}, К.В. Толкачев¹, И.В. Солдатов¹, С.А. Рыжов^{1,3}, А.В. Водоватов⁴

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

⁴ 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

Существует устоявшееся мнение, что радиационная безопасность пациента и персонала лежит в пределах деятельности и ответственности отделений лучевой диагностики. Однако назначение дополнительных и зачастую необоснованных рентгенорадиологических исследований, которые поступают от врачей-клиницистов, может внести существенный вклад в облучение пациента и рабочую нагрузку персонала. Выполнение на практике принципа обоснования радиационной безопасности в современных реалиях может быть реализовано с помощью цифровых систем. В данной статье с точки зрения радиационной безопасности разработаны требования к эффективному инструменту контроля за необоснованными исследованиями – системе поддержки принятия врачебных решений. Также был проанализирован современный парк отечественного программного обеспечения в данной области. В работе показано, что существующие отечественные системы поддержки принятия врачебных решений не в полной мере удовлетворяют сформулированным действующим требованиям радиационной безопасности. Большинство систем поддержки принятия врачебных решений не предлагают выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований (только 31% предлагают) и не содержат информацию о накопленной дозе пациента для принятия решения о назначении исследований (только 23% содержат). Разработанная методика оценки систем поддержки принятия врачебных решений позволит выбрать и внедрить в клиническую практику наиболее оптимальную систему с точки зрения радиационной безопасности.

Ключевые слова: медицинские информационные системы, система поддержки принятия врачебных решений, медицинское облучение, принцип обоснования, необоснованные направления.

Введение

По данным мировой статистики, доля необоснованных исследований в лучевой диагностике варьирует от 20% до 77% [1]. Это не только влияет на трату экономических и временных ресурсов медицинских организаций, но и сказывается на уровне облучения пациентов. Доля необоснованных направлений на проведение рентгено-радиологических исследований в амбулаторных медицинских организациях может достигать от 6,6% до 37,8%,

а их вклад в структуру доз при медицинском облучении может достигать более 20% [2]. На фоне ежегодного роста числа рентгенорадиологических процедур [3] и, как следствие, роста коллективной эффективной дозы населения г. Москвы от облучения медицинскими источниками ионизирующего излучения становится очевидной необходимость более глубокой проработки вопроса внедрения контроля за необоснованными назначениями и проведенными исследованиями.

Лантух Зоя Александровна

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий

Адрес для переписки: 127051, Россия, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; E-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

В рамках обеспечения радиационной безопасности пациентов при назначении диагностических рентгено-радиологических, согласно ОСПОРБ-99/2010¹, должен применяться принцип обоснования. Принцип обоснования при проведении рентгенологических исследований реализуется с учетом следующих требований СанПиН 2.6.1.1192-03²:

- приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов;
- проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям;
- выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований;
- риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении.

Однако применение принципа обоснования на практике сталкивается с такими проблемами, как:

- отсутствие необходимых знаний по радиационной безопасности у клиницистов [4];
- недостаточная информация о накопленной дозе пациента или ее полное отсутствие при принятии решения о назначении рентгенорадиологического исследования;
- неясность в вопросе, кто принимает окончательное решение о проведении рентгенорадиологического исследования;
- отсутствие работающего механизма отказа врача-рентгенолога от проведения назначенного исследования.

Согласно системе МАГАТЭ, медицинским работникам следует придерживаться рекомендаций по радиационной безопасности в процессе принятия клинических решений для обеспечения пациента наиболее эффективной

и безопасной медицинской помощью. Врач при назначении исследования должен оценивать потенциальные пользу и риск для пациента с учетом индивидуальных особенностей. Для решения проблемы отсутствия необходимых знаний по радиационной безопасности и повышения уровня квалификации врачей-клиницистов в 2020 г. ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения г. Москвы» были разработаны методические пособия серии «Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма» [5–12]. Для удобства работы данные рекомендации были объединены по синдромально-нозологическому принципу, с кодировкой примеров некоторых заболеваний по МКБ-10. Методы лучевой диагностики разделены на следующие группы: основной метод, дополнительный метод, метод не показан. Основной метод – метод исследования, наиболее информативный при данном синдроме, патологическом состоянии; дополнительный метод – метод исследования, применяемый в случае невозможности проведения или неинформативности предыдущего исследования, либо метод исследования, показанный при конкретной нозологической группе. Дополнительный метод может отличаться от основного метода и применяться в некоторых случаях, минуя основной метод обследования. Метод не показан – метод рекомендуется к исключению из-за низкой информативности, наличия противопоказаний или сложности выполнения в данной клинической ситуации. С точки зрения радиационной безопасности, методы лучевой диагностики были разделены в зависимости от диапазонов значений эффективной дозы, по следующим категориям радиационного риска, представленным в таблице 1 [10, 13].

Категории радиационного риска и диапазоны эффективной дозы, мЗв

Таблица 1

[Table 1

Radiation risk category and effective dose, mSv]

Категория радиационного риска (диапазон риска, отн. ед.) [radiation risk category]	Графическая визуализация [visualization]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]		
		Дети (до 18 лет) [children]	Взрослые (18–64 года) [adult]	Лица старшего возраста (65 лет и более) [older persons]
Пренебрежимый (< 10 ⁻⁶) [Negligible]		< 0,01	< 0,02	< 0,2
Минимальный (10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵) [Minimal]		0,01–0,1	0,02–0,2	0,2–2
Очень низкий (10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴) [extremely low]		0,1–1	0,2–2	2–20

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (ред. от 16.09.2013 г.) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ99/2010)»» (зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 г. № 18115) [Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of April 26, 2010 N 40 (amended on September 16, 2013) “On Approval of SR 2.6.1.2612-10 “Basic Sanitary Rules of Radiation Safety” (Registered in the Ministry of Justice of Russia on August 11, 2010 N 18115) (In Russ.)]

² Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards SanPiN 2.6.1.1192-03 «Hygienic requirements for the organization and operation of X-ray rooms, equipment and X-ray examinations» (In Russ.)].

Категория радиационного риска (диапазон риска, отн. ед.) [radiation risk category]	Графическая визуализация [visualization]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]		
		Дети (до 18 лет) [children]	Взрослые (18–64 года) [adult]	Лица старшего возраста (65 лет и более) [older persons]
Низкий (10^{-4} – 10^{-3}) [low]		1–10	2–20	20–200
Умеренный (10^{-3} – $3 \cdot 10^{-3}$) [moderate]		10–30	20–60	200–500

Значения радиационного риска для различных возрастных групп детей рассчитаны в соответствии с п. 4.1 и таблицами 1 и 2 Приложения МР 2.6.1.0215-2015 [13], а также на основании литературных данных [14, 15]. Диапазоны эффективных доз представлены для доз за 1 исследование, включающее в себя один или несколько рентгеновских снимков для рентгенографии, несколько этапов просвечивания и несколько рентгеновских снимков для рентгеноскопии; 1 или несколько фаз исследований для компьютерной томографии и позитронной эмиссионной томографии.

И хотя подобные пособия имеют достаточную популярность во врачебном сообществе – за 3 года размещения на интернет-ресурсе просмотрено более 1890 раз, скачано более 900 раз, однако внедрение в ежедневную работу врача-клинициста методических пособий неудобно и на практике не реализуемо. Еще в 2013 г. на конгрессе МАГАТЭ (2nd International Symposium on the System of Radiological Protection, October 2013) была обозначена необходимость доведения рекомендаций по радиационной безопасности до врача-клинициста в момент оказания медицинской помощи. Эксперимент по добровольному применению методических пособий врачом-клиницистом описанный, например, в [16], показал низкий процент их использования.

Другим способом применения принципов доказательной медицины в клинической практике, а также для обеспечения соответствия назначений актуальным и современным клиническим рекомендациям в мировой практике является использование систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), или *Clinical decision support system (CDSS)*. Внедрение СППВР в практику назначения врачей в работе [17] позволило бы значительно снизить рост числа КТ, также положительные отзывы о применении СППВР отражены в исследовании [18]. Результаты мета-анализа 2015 г. [19] указывают на возможность снижения нецелесообразных назначений при использовании СППВР, интегрированных в электронную медицинскую карту пациента. Однако мета-анализ 2021 г. [20] не выявил общего положительного влияния СППВР на поведение врача-клинициста, работающего в стационарных условиях.

В отношении радиационной безопасности пациента и прежде всего применения принципа обоснования в точке оказания медицинской помощи применяются специализированные СППВР, такие как ACR Select [21], CMS, iRefer. В результате объединения усилий европейского и американского общества рентгенологов и радиологов (ESR и ACR) и National Decision Support Company (NDSC)

в качестве предоставления технической платформы появился ресурс СППВР iGuide [22]. Применение систем ACR Select и iGuide в Российской Федерации несет в себе проблемы русификации и несоответствия отечественным нормативным и методическим документам.

В работе рассматривается вопрос внедрения в практику врачей-клиницистов российских СППВР и их способностью решать проблемы радиационной безопасности пациента.

Цель исследования – разработать требования к СППВР для обеспечения радиационной безопасности пациента и провести оценку существующих российских систем с точки зрения обеспечения радиационной безопасности пациента.

Материалы и методы

Для анализа существующих СППВР на соответствие принципу радиационной безопасности был проведен поиск в базах данных PubMed и eLibrary по следующим запросам на английском и русском языках: «Системы поддержки принятия врачебных решений», «СППВР», «clinical decision support system», «clinical decision support system radiation protection». Также были проанализированы доступные в свободном пространстве Интернет информационные системы СППВР, их руководства пользователя и другая техническая документация.

Всего было проанализировано 30 различных российских СППВР. Системы можно разделить на 3 основные категории: помощь в лечении, включая подбор и контроль терапии; помощь в мониторинге пациентов, в том числе в удаленном режиме; анализ данных носимых устройств и оборудования с целью поддержки принятия решения [23]. В настоящей работе для дальнейшего исследования рассматривались только СППВР из первой категории (помощь в лечении), так как именно такие системы могут оказывать помощь врачу-клиницисту при принятии решения о назначении диагностических процедур. Далее системы из первой категории анализировались с точки зрения наличия возможностей и функционала для помощи в принятии решения непосредственно при назначении на рентгенологические исследования. В результате было отобрано 13 российских СППВР, обеспечивающих поддержку принятия врачебных решений в области назначений рентгенорадиологических исследований. Процесс отбора СППВР представлен на рисунке 1. Анализ проводился на основе данных из открытых источников.

Оценка соответствия СППВР требованиям обеспечения радиационной безопасности пациента проводилась



Рис. 1. Процесс отбора СППВР
[Fig. 1. CDSS selection process]

согласно списку нормативных документов в области радиационно-гигиенического регулирования оказания медицинской помощи (представленному в приложении 1).

Был составлен перечень требований к СППВР в списке приложения 2, разделенный на 3 основных направления:

- общие требования;
- требования к функционалу;
- оценка удобства использования.

Для проведения интегральной оценки СППВР каждому направлению присваивается соответствующий весовой коэффициент на основании экспертной оценки (табл. 2). Экспертная группа состояла из 5 специалистов с опытом работы более 5 лет. В неё вошли: специалист по радиационной безопасности человека и окружающей среды, эксперт-физик, врач-рентгенолог, специалист по контролю за источниками ионизирующих излучений, врач-клиницист.

Таблица 2

Весовые коэффициенты для оценки СППВР

[Table 2

Weighting factors for the evaluation of the CDSS]

Направление оценки [Evaluation category]	Весовой коэффициент [Weighting factor]
I. Общие требования [General requirements]	0,2
II. Требования к функционалу [Functionality requirements]	0,6
III. Оценка удобства использования [User-friendliness]	0,2

Каждой СППВР присваивались баллы по градации от 0 до 1 по каждому пункту из перечня требований, расшифровка баллов представлена в таблице 3.

Таблица 3

Критерии присвоения баллов при оценке СППВР

[Table 3

Weighting factors for the evaluation of the CDSS]

Количество баллов [Number of points]	Результат [Result]
0	Не отвечает требованию [does not meet the requirement]
0,5	Отвечает разработанному требованию не в полном объёме/реализация требования неудобна [does not fully meet the developed requirement/ implementation of the requirement is inconvenient]
1	Отвечает разработанному требованию / реализован в удобном виде [meet the requirement/ implemented in a convenient way]

Интегральная оценка СППВР

Интегральная оценка СППВР проводилась по формуле:

$$U = \sum (K_n \times \bar{U}_n),$$

где U – интегральная оценка СППВР; K_n – весовой коэффициент n-го направления оценки; \bar{U}_n – среднее арифметическое значение баллов по n-му направлению.

Значение интегральной оценки находится в пределах [0; 1]: «0» – СППВР не отвечает ни одному требованию; «1» – максимальное значение при соответствии всем требованиям.

Результаты и обсуждение

Требования к СППВР с точки зрения радиационной безопасности пациента

СППВР – программные продукты, которые связывают медицинские знания с данными конкретного пациента и через эту связь помогают повышать эффективность врача. Поддержка назначения диагностических и инструментальных исследований и формирование направлений на диагностические исследования с рабочего места врача, согласно Приказу Минздрава России от 24.12.2018 № 911н³, обеспечивается наличием в медицинских информационных системах (МИС) электронной медицинской карты (ЭМК). В том же приказе обозначены требования к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъекта Российской Федерации (ГИС СРФ), которые должны обеспечивать ведение централизованной системы хранения и обработки результатов диагностических исследований – «Центрального архива медицинских изображений»

³ Приказ Минздрава РФ от 24.12.2018 № 911Н «Об утверждении требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций и информационным системам фармацевтических организаций» [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of December 24, 2018 N 911H. «On approval of requirements for national information systems in the field of healthcare of the Russian Federation constituent entities, medical information systems of medical organizations and information systems of pharmaceutical organizations» (In Russ.)]

(ЦАМИ), функции которой пересекаются с СППВР. ЦАМИ должна:

- обеспечивать централизованное хранение в электронном виде результатов диагностических исследований и медицинских изображений, формируемых в МО субъекта РФ;

- предоставлять оперативный доступ к имеющимся результатам диагностических исследований и медицинским изображениям с автоматизированных рабочих мест медицинских работников при осуществлении ими профессиональной деятельности;

- поддерживать анализ обоснованности назначения диагностических исследований, в том числе повторных.

Также одним из выводов анализа современного состояния информатизации здравоохранения в условиях концепции создания единого цифрового контура в здравоохранении, проведенного в 2022 г. Счетной палатой Российской Федерации [24], стала необходимость формирования цифровых двойников порядков оказания медицинской помощи и клинических рекомендаций при их утверждении и пересмотре.

Разработка СППВР для множества нозологий требует достаточно больших временных и финансовых затрат, что должно компенсироваться гибкостью настройки для соответствия современным клиническим рекомендациям, клиентским путям, стандартам оказания медицинской помощи, приказам Министерства здравоохранения и нормативным документам региональных департаментов здравоохранения. В отношении радиационной безопасности для СППВР важно, чтобы была проведена настройка на соответствие не только нормативным документам Роспотребнадзора (СанПиН, СП и пр.), но и методическим документам, утвержденным Роспотребнадзором.

Для принятия решений врачом в месте оказания медицинской помощи система СППВР также должна иметь большую скорость отклика. А в связи с необходимостью быстро наладить лечебно-диагностический процесс более привлекательными выглядят варианты реализации СППВР, встраиваемые в используемую МИС [25, 26, 27].

Выполнение рекомендаций, указанных в СППВР, зависит не только от содержания системы, но и от формата предоставления информации и удобства инструмента ее поиска.

Для соответствия назначения исследования с помощью СППВР принципу обоснования радиационной безопасности необходимо реализовать, согласно СанПиН 2.6.1.1192-03:

1. Приоритетный выбор альтернативных (нерadiационных) методов исследования. СППВР должна предлагать альтернативные методы диагностики заболевания каждого диагноза по коду МКБ-10. Другими словами, в СППВР должны быть обозначения, разделяющие радиационные и нерadiационные методы лучевой диагностики.

2. Проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям возможно при соответствии СППВР актуальным действующим клиническим рекомендациям и другим нормативным и методическим документам. Согласно Приказу Минздрава от 09 июня 2020 г. № 560н⁴, для проведения рентгенорадиологического исследования при оказании медицинской помощи в амбулаторных условиях лечащий врач оформляет направление на рентгенорадиологическое исследование.

3. Выбор наиболее щадящих и информативных методов рентгенорадиологических исследований. СППВР должна проводить оценку метода исследования относительно других методов в виде численного показателя, графической или цветовой визуализации. Оценка назначаемого рентгенорадиологического метода может быть произведена путем описания стандартной эффективной дозы от предстоящего исследования. Важно отметить, что принятие решения о проведении исследования должно опираться на качество и полноту получаемой диагностической информации, а используемые СППВР должны соответствовать актуальным клиническим рекомендациям.

4. Оценка риска отказа от рентгенологического исследования должна заведомо превышать риск от облучения при его проведении. СППВР должна проводить оценку метода исследования относительно радиационной безопасности конкретного пациента – просуммировать эффективные дозы от каждой входящей проведенной до момента назначения процедуры и суммарную дозу сопоставить с данными МР 2.6.1.0215-20⁵ для соответствующей возрастной группы. Далее СППВР должна сравнивать данный показатель с риском отказа от рентгенологического исследования, оценка которого основана на анамнезе пациента и истории его болезни. Для выполнения данного требования привлекательной кажется перспектива внедрения в СППВР систем искусственного интеллекта и модулей машинного обучения.

Также важным является обозначение особых групп граждан, для которых рентгенологическое исследование должно обосновываться дополнительно (в частности, беременных). Как было показано в работе [2], беременность не всегда учитывается назначающим врачом, а значит, может привести к ненужным назначениям рентгенологических исследований и, как следствие, – к дополнительному облучению пациентки и плода.

Анализ существующих отечественных СППВР на соответствие разработанным требованиям

Более половины рассмотренных систем имеют значение интегральной оценки менее 0,45 (рис. 2). Минимальное значение интегральной оценки составило 0,16, а максимальное 0,74.

⁴ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований» (зарегистрирован 14.09.2020 г. № 59811) [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated June 9, 2020 No. 560n «On approval of the Rules for conducting X-ray examinations» (Registered on September 14, 2020 No. 59811) (In Russ)].

⁵ МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований» [MR 2.6.1.0215-20 «Assessment of radiation risk in patients during X-ray procedures» (In Russ.)]

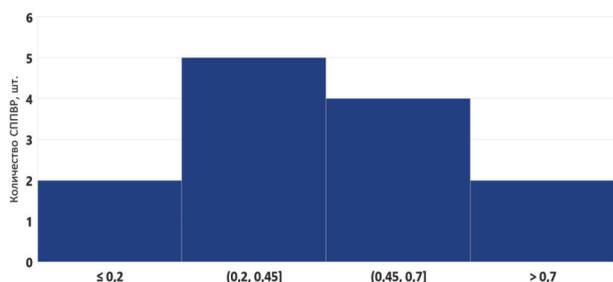


Рис. 2. Распределение интегральной оценки СППВР
[Fig. 2. Distribution of integral evaluation of CDSS. Number of CDSS is indicated on the Y-axis]

Средняя оценка по направлению функционала, обеспечивающего принцип РБ, составила всего 0,43 при максимальном значении 1 (табл. 4). Всего 4 системы имеют среднюю оценку по второму направлению более 0,5. Соответственно, можно сделать вывод о том, что существующие СППВР не удовлетворяют сформулированным требованиям по радиационной безопасности в полной мере, большинство систем не предлагают выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований из рекомендуемых для данного вида патологии (только 31% предлагают) и не содержат информацию о накоплен-

ной дозе пациента для принятия решения о назначении исследований (только 23% содержат). Приоритетное использование альтернативных нерадиационных методов предлагает только половина рассмотренных систем. И ни одна система не оценивает риск от проведения/отказа от проведения диагностической процедуры.

Однако большинство систем удовлетворяют общим требованиям к СППВР. Около 70% систем имеют возможность интеграции в установленные в медицинских организациях МИС или РИС, что является необходимым для удобного и полного анализа информации о пациента (лист учета дозовой нагрузки, антропометрические данные и др.) для поддержки принятия решения о назначении рентгенологической процедуры.

Результаты оценки удобства использования не приведены, так как такая оценка должна проводиться непосредственно медицинским персоналом, работающим на СППВР на местах, а апробация программного обеспечения с установкой для практического исследования не проводилась.

Указанные в статье требования нормативных документов, цифровизация клинических протоколов и различные информационные технологии, включая обработку больших объемов данных и искусственный интеллект, позволяют отечественным разработчикам создавать системы, наиболее приближенные к потребностям здра-

Таблица 4

Результаты оценки СППВР

[Table 4

The results of the evaluation of CDSS]

№	Требования к СППВР [CDSS requirements]	% СППВР, соответствующих требованию [% CDSS complying with the requirement]
I.	Общие требования [General requirements]	Уср = 0,89
1	ВЕБ-интерфейс [WEB interface]	92%
2	Наличие регистрационного удостоверения Росздравнадзора [Availability of the Roszdravnadzor Registration certificate]	83%
3	Возможность обновления при издании нового нормативного документа [Update in accordance with new regulatory document]	100%
4	Достаточная скорость отклика системы [Sufficient system response speed]	100%
5	Возможность интеграции в МИС или РИС [Integration into MIS or RIS]	69%
II.	Функционал обеспечения принципа обоснования радиационной безопасности пациента [Functionality for justification principle of radiation safety of the patient]	Уср = 0,43
1	Приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов [Priority use of alternative (non-radiation) methods]	54%
2	Проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям [Conducting only clinically indicated X-ray diagnostic examinations]	77%
3	Выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований [The choice of most sparing methods of X-ray diagnostic examinations]	31%
4	Риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении [The risk of waiving the X-ray examination should obviously outweigh the radiation exposure risk of the examination]	0%
5	Наличие информации о накопленной дозе пациента при принятии решений о назначении исследования (доступный лист учета дозовых нагрузок) [Availability of information about the patient accumulated dose when making decisions on the study prescription (The list of patient dose is available)]	23%
6	Наличие информации о беременности пациентки при назначении беременных [Patient pregnancy status is available]	77%

вохранения Российской Федерации. Например, в рамках разработки региональной СППВР г. Москвы рабочей группой [27] в 2020 г. проводились учет и систематизация научно-практических и диагностических данных о жалобах, симптомах, синдромах, предварительных диагнозах. Формирование справочника жалоб и симптомов пациентов, обращающихся в медицинскую организацию, и описание алгоритма (модели) принятия решения при определенных симптомах, синдромах помогли поставить предварительный диагноз. С целью назначения инструментальных исследований и исключения дополнительной необоснованной лучевой нагрузки в электронной медкарте пациентов был создан удобный информационный блок. Данный блок отображает в онлайн-режиме показатели накопленной эффективной дозы пациента за последний год и позволяет ее контролировать. Внедрение данного блока позволило врачам по каждому пациенту просматривать и анализировать обязательную форму «Лист учета дозовых нагрузок» (рис. 3), а справочная информация по назначаемому исследованию позволяет оценить планируемую лучевую нагрузку. Если назначение приведет к превышению облучения пациента более 500 мЗв, обозначенному в пункте 7.10 СанПиН 2.6.1.1192-03², то на экране отобразится сигнальная подсказка (рис. 4), врач сможет заменить метод диагностики или отложить про-

ведение исследования. При этом решение остается за врачом: подсказки носят рекомендательный характер.

Заключение

Несоблюдение клинических рекомендаций, клинических путей, стандартов оказания медицинской помощи, приказов Министерства здравоохранения или нормативных документов региональных Департаментов здравоохранения приводит к тому, что пациенты могут подвергаться ненужному избыточному ионизирующему излучению в результате необоснованных направлений на рентгенорадиологические исследования. При принятии решения о проведении рентгенорадиологического исследования должен быть оценен риск возникновения отдаленных последствий от воздействия медицинских источников ионизирующего излучения. Внедрение СППВР в практику врачей-клиницистов позволяет использовать более современные методы доказательной диагностики.

Система СППВР, как полноценная, так и ее элементы, при ее использовании врачами является эффективным инструментом контроля за обоснованностью назначений рентгенорадиологических исследований, а дополненная информацией о радиационной безопасности пациента позволяет соблюдать требования Роспотребнадзора

18 окт



Лист учета дозовых нагрузок

Распечатать

Доза облучения за последний год: 195,5 мЗв

Дата	Вид исследования / процедура	Кол-во	Доза, мЗв
17 июн	Компьютерная томография органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза с контрастированием Компьютерная томография	1	35
24 авг	Компьютерная томография органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза с контрастированием Компьютерная томография	1	35
15 авг	Компьютерная томография органов грудной клетки Компьютерная томография	1	4:
10 янв	Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, с 18F-ФДГ Позитронно-эмиссионная томография	1	42.2
15 авг	Компьютерная томография органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза с контрастированием Компьютерная томография	1	35
03.11.2021	Позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией, с 18F-ФДГ	1	44.5

Рис. 3. Лист учета дозовой нагрузки в карте пациента в ЕМИАС
[Fig. 3. The list of the patient dose in electronic patient records EMIAS]

Создание назначения на ИД ✕

Выберите шаблон из списка ▼

Диагноз

Введите или выберите из списка ▼

Основное исследование

Рентгенография грудно-ключичного сочленения ▼

Дополнительное исследование

Рентгенография грудного отдела позвоночника в косых проекциях ✕

Введите или выберите из списка ▼

Предполагаемая доза облучения Доза облучения за всё время

0,6 мЗв **499,8 мЗв**

⚠ Выбранное исследование может привести к излишнему уровню облучения. Рекомендуется выбрать другой вид исследования с учетом требования п. 7.10 СанПиН 2.6.1.1192-03.

Латеральность

Слева Справа С обеих сторон

Цель исследования

Например, "Исключить патологию органов ЖКТ"

[Сохранить как шаблон](#) [Создать ещё](#) [Назначить](#)

Рис. 4. Назначение инструментального рентгенорадиологического исследования. Суммарная дозовая нагрузка пациента превышает 500 мЗв
[Fig. 4.] The referral of instrumental X-ray examination. The total dose for the patient exceeds 500 mSv

по обеспечению радиационной безопасности при использовании медицинских источников ионизирующего излучения.

Разработанная методика оценки СППВР в соответствии со списком установленных требований позволит выбрать и внедрить в клиническую практику наиболее оптимальную систему с точки зрения радиационной безопасности.

Ограничения исследования

Ограничением исследования является конечный перечень отечественных СППВР и доступная на момент проведения исследования информация об их функциональности.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции,

проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Лантух З.А. – дизайн исследования, поиск публикаций по теме, анализ литературы, обработка полученных результатов, написание текста.

Шатенок М.П. – дизайн исследования, обработка полученных результатов, систематизация и редактирование статьи.

Дружинина Ю.В. – обработка полученных результатов, систематизация и редактирование статьи.

Толкачев К.В. – обработка полученных результатов, экспертная оценка списка литературы, редактирование статьи.

Солдатов И.В. – обработка полученных результатов, экспертная оценка списка литературы.

Рыжов С.А. – финальное редактирование статьи.

Водоватов А.В. – финальное редактирование статьи.

Благодарности

Отдельно выражаем благодарность за помощь в подготовке статьи к публикации сотруднику отдела координации научных исследований Баскаковой Александре Вячеславовне.

Информация о конфликте интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Сведения об источнике финансирования

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное развитие медико-технологических и организационных аспектов обеспечения радиационной безопасности при оказании медицинской помощи» (№ ЕГИСУ: №123031500006-9) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы, государственному бюджетному (автономному) учреждению, подведомственному Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Литература

- Vilar-Palop J., Hernandez-Aguado I., Pastor-Valero M., et al. Appropriate use of medical imaging in two Spanish public hospitals: a cross sectional analysis. *BMJ Open*. 2018.
- Лантух З.А., Тлигулов Ю.А., Солдатов И.В., и др. Необоснованные направления на рентгенорадиологические исследования и их влияние на коллективную эффективную дозу пациентов в амбулаторных медицинских организациях // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 1. С. 66-79. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-66-79.
- Дружинина Ю.В., Рыжов С.А., Водоватов А.В., и др. Влияние COVID-19 на динамику изменений дозовой нагрузки на пациентов при проведении компьютерной томографии в медицинских организациях Москвы // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 1. С. 5-15. DOI:10.17816/DD87628.
- Campanella F, Rossi L, Giroletti E., et al. Are physicians aware enough of patient radiation protection? Results from a survey among physicians of Pavia District- Italy // *BMC Health Services Research*. 2017. Vol. 14, No 17(1). P. 406.

5. Морозов С.П., Соколова И.А., Бурмистров Д.С. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 1. Диагностика патологических состояний и заболеваний органов грудной клетки / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 30 с.
6. Морозов С.П., Нуднов Н.В., Ветшева Н.Н. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 2. Диагностика патологических состояний и заболеваний желудочно-кишечного тракта / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 38 с.
7. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Епифанова С.В. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 3. Диагностика патологических состояний и заболеваний опорно-двигательного аппарата / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 40 с.
8. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Кремнева Е.И. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 4. Диагностика патологических состояний и заболеваний центральной нервной системы / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 30 с.
9. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Злобина Ю.С. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 5. Лучевая диагностика в травматологии / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 42 с.
10. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Шапиева А.Н. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 6. Лучевая диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020. 36 с.
11. Морозов С.П., Бурмистров Д.С., Басарболиев А.В. и др. Раздел 7. Диагностика патологических состояний и заболеваний в акушерстве и гинекологии / Под ред. С.П. Морозова / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. М., 2020.
12. Морозов С. П., Трофименко И. А., Шапиев А. Н. и др. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 9. Диагностика патологических состояний мочевого пузыря: методические рекомендации / Под ред. С.П. Морозова // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 23. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 34 с.
13. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. Методические рекомендации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015.
14. Андерссон М., Эккерман К., Павел Д. и др. Улучшенные модели оценки радиационного риска для отдельных когорт пациентов в Швеции // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2. С. 44-54. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54.
15. Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в российской федерации // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 56-68.
16. M del Rosario Pérez. Referral criteria and clinical decision support: radiological protection aspects for justification, 2015. Vol. 44, No 1. P. 276-87.
17. Siström C.L., Dang P.A., Weillburg J.B. et al. Effect of Computerized Order Entry with Integrated Decision Support on the Growth of Outpatient Procedure Volumes: Seven-year Time Series Analysis // Radiology. 2009. Vol. 251, No. 1.
18. Calcaterra D., Modica G.D., Tomarchio O., Romeo P. A clinical decision support system to increase appropriateness of diagnostic imaging prescriptions // Journal of Network and Computer Applications. 2018. Vol. 117. P. 17-29. 10.1016/j.jnca.2018.05.011.
19. Miller A., Moon B., Anders S. et al. Integrating computerized clinical decision support systems into clinical work: A meta-synthesis of qualitative research // International Journal of Medical Informatics. 2015. Vol. 84, No 12. P. 1009-18. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2015.09.005. Epub 2015 Sep 14. PMID: 26391601.
20. Ronan C.E., Crable E.L., Drainoni M.L., Walkey A.J. The impact of clinical decision support systems on provider behavior in the inpatient setting: A systematic review and meta-analysis // Journal of Hospital Medicine. 2022. Vol. 17, No 5. P. 368-383. doi: 10.1002/jhm.12825. Epub 2022 May 5. PMID: 35514024.
21. Cooke R. Utilization Management and ACR Select // Radiology Management. 2015. Vol. 37, No 2. P. 9-12. PMID: 26485890.
22. Официальный сайт «European Society of Radiology». URL: <https://www.myesr.org/esriguide> (Дата обращения: 27.06.2023).
23. Гусев А. Обзор Российских систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР), 30.12.21. URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-reshenii> (Дата обращения: 28.06.2023).
24. Анализ современного состояния информатизации здравоохранения в условиях концепции создания единого цифрового контура в здравоохранении, коллегия Счетной палаты РФ 31 мая 2022 года.
25. Сергеев Ю.А., Стерлёва Е.А., Ниязян Д.А. и др. Система принятия врачебных решений в медицине. Сравнительный анализ качества решений поставленных задач в процессе лечения разных СППВР. 2021. Т. 4, № 9
26. Реброва О.Ю. Эффективность систем поддержки принятия врачебных решений: способы и результаты оценки // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2019. № 4. С. 148-155.
27. Озеров В.А., Руданов Ю.Г. Система поддержки принятия врачебных решений // Системный анализ в проектировании и управлении. 2020. С. 260-272.
28. Официальный сайт Департамента здравоохранения города Москвы. URL: <https://mosgorzdrav.ru/systema-podderzhki-prinyatiya-vrachebnykh-resheniy> (Дата обращения: 27.06.2023).

Поступила: 30.06.2023 г.

Лантух Зоя Александровна – начальник отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы. **Адрес для переписки:** 127051, Россия, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; E-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>

Шатёнок Мария Петровна – эксперт отдела дозиметрического контроля и медицинской физики Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9217-7011>

Дружинина Юлия Владимировна – эксперт отдела дозиметрического контроля и медицинской физики Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; преподаватель кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности им. Ф.Г. Кроткова Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>

Толкачев Кирилл Владимирович – эксперт отдела дозиметрического контроля и медицинской физики Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>

Солдатов Илья Владимирович – начальник испытательной лаборатории, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0640-7368>

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, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Для цитирования: Лантух З.А., Шатёнок М.П., Дружинина Ю.В., Толкачев К.В., Солдатов И.В., Рыжов С.А., Водоватов А.В. Российские системы поддержки принятия врачебных решений в лучевой диагностике как элемент обеспечения радиационной безопасности пациентов // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 67-80. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-67-80

Russian decision support systems in radiation diagnostics as an element of ensuring the radiation safety of patients

Zoya A. Lantukh¹, Mariya P. Shatenok¹, Yuliya V. Druzhinina^{1,2}, Kirill V. Tolkachev¹, Ilya V. Soldatov¹, Sergey A. Ryzhov^{1,3}, Aleksandr V. Vodovatov⁴

¹ Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ Dmitry Rogachev National Medical Research Center for Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ 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

There is a well-established opinion that the radiation safety of the patient and staff lies within the scope of the activities and responsibilities of the radiation diagnostics departments. However, repeated referrals and unjustified X-ray examinations from clinicians can make a significant contribution to the radiation load of the patient and the workload of the staff. The radiation safety requirements formulated in the article are designed for an effective monitoring tool for unjustified studies – the Clinical Decision Support System. The modern park of domestic software in this area was also analyzed. It was found, that the existing domestic Clinical Decision Support Systems do not fully meet the formulated current radiation safety requirements. The majority of clinical decision support system do not offer a choice of the most sparing methods of X-ray examinations (only 31% offer), and do not contain information about the accumulated patient dose for making a decision on the appointment of studies (only 23% contain). The developed methodology for assessing the Clinical Decision Support Systems will allow choosing and implementing the most optimal system in terms of radiation safety into clinical practice.

Key words: medical information system, clinical decision support system, medical exposure, justification principle, unjustified X-ray examinations.

Authors contribution

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Zoya A. Lantukh – research design development, search for relevant publications, literature analysis, data processing, writing;

Mariya P. Shatenok – research design development, data processing, systematization and final editing of the review;

Yuliya V. Druzhinina – data processing, systematization and final editing of the review;

Kirill V. Tolkachev – data processing, expert evaluation of literature review;

Ilya V. Soldatov – expert evaluation of literature review;

Sergey A. Ryzhov – final editing of the review;

Aleksandr V. Vodovatov – final editing of the review.

Acknowledgments

Separately, we express our gratitude for the help in preparing the article for publication to the employee of the

Department for the Coordination of Scientific Research Alexandra V. Baskakova.

Conflict of interest

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Information about the source of funding

This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Scientific advances in medical, technological and organizational aspects of radiation safety in health care” (USIS No.:№123031500006-9) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 “On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025” issued by the Moscow Health Care Department.

References

1. Vilar-Palop J, Hernandez-Aguado I, Pastor-Valero M, et al. Appropriate use of medical imaging in two Spanish public hospitals: a cross sectional analysis. *BMJ Open*. 2018.

Zoya A. Lantukh

Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine

Address for correspondence: Petrovka str., 24, building 1, Moscow, 127051, Russia; E-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

2. Lantukh ZA, Tligurov YuA, Soldatov IV, et al. Unjustified referrals to radiological examinations and their impact on the collective effective dose of patients in outpatient medical organizations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(1): 66-79. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-66-79.
3. Druzhinina YuV, Ryzhov SA, Vodovatov AV, et al. The impact of COVID-19 on the dynamics of changes in the dose load on patients during computed tomography in medical organizations in Moscow. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1): 5-15. (In Russian). DOI:10.17816/DD87628.
4. Campanella F, Rossi L, Giroletti E, Micheletti P, Buzzi F, Villani S. Are physicians aware enough of patient radiation protection? Results from a survey among physicians of Pavia District- Italy. *BMC Health Services Research*. 2017;14;17(1): 406.
5. Morozov SP, Sokolina IA, Burmistrov DS, Basarboliev AV, Kim SYu, Ryzhov SA, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 1. Diagnosis of pathological conditions and diseases of the chest. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. 30 p. (In Russian).
6. Morozov SP, Nudnov NV, Vetsheva NN, Basarboliev AV, Kim SYu, Ryzhov SA, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 2. Diagnosis of pathological conditions and diseases of the gastrointestinal tract. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". Issue. Moscow, 2020. 38 p. (In Russian).
7. Morozov SP, Burmistrov DS, Epifanova SV, Basarboliev AV, Narkevich BYa, Ryzhov SA, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 3. Diagnosis of pathological conditions and diseases of the musculoskeletal system. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. 40 p. (In Russian).
8. Morozov SP, Burmistrov DS, Kremneva EI, Rostovtseva TM, Basarboliev AV, Ryzhov SA, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 4. Diagnosis of pathological conditions and diseases of the central nervous system. Ed. by SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. 30 p. (In Russian).
9. Morozov SP, Burmistrov DS, Zlobina YuS, Epifanova SV, Basarboliev AV, Narkevich BYa, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 5. Radiation diagnostics in traumatology. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. 42 p. (In Russian).
10. Morozov SP, Burmistrov DS, Shapieva AN, Narkevich BYa, Ryzhov SA, Lantukh ZA, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 6. Radiation diagnosis of diseases of the cardiovascular system. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. 36 p. (In Russian).
11. Morozov SP, Burmistrov DS, Basarboliev AV, Kuznetsov PA, Lapina IA, Narkevich BYa, et al. Informativity of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 7. Diagnosis of pathological conditions and diseases in obstetrics and gynecology. Ed. SP Morozov. Series "Best practices of radiological and instrumental diagnostics". issue. Moscow, 2020. (In Russian).
12. Morozov SP, Trofimenko IA, Shapiev AN, et al. Informativeness of methods of radiation diagnostics in various pathological conditions of the body. Section 9. Diagnosis of pathological conditions of the genitourinary system: guidelines. Ed. SP Morozov. Series "Best Practices of Radiation and Instrumental Diagnostics". Issue 23. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: GBUZ «NPKTs DiT DZM», 2020. 34 p. (In Russian).
13. Assessment of radiation risk in patients during X-ray studies. Guidelines. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, 2015. (In Russian).
14. Andersson M, Eckerman K, Pawel D, Alm n A, Mattsson S. Improved radiation risk models applied to specific cohorts of Swedish patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 44-54. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54. (In Russian).
15. Golikov VyU, Vodovatov AV, Chipiga LA, Shatsky IG. Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 56-68. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3. (In Russian).
16. Prez MdR. Referral criteria and clinical decision support: radiological protection aspects for justification. 2015;44(1 Suppl):276-87.
17. Sstrom CL, Dang PA, Weilburg JB, Dreyer KJ, Rosenthal DI, Thrall JH. Effect of Computerized Order Entry with Integrated Decision Support on the Growth of Outpatient Procedure Volumes: Seven-year Time Series Analysis. *Radiology*. 2009;251(1).
18. Calcaterra D, Modica GD, Tomarchio O, Romeo P. A clinical decision support system to increase appropriateness of diagnostic imaging prescriptions. *Journal of Network and Computer Applications*. 2018;117: 17-29. 10.1016/j.jnca.2018.05.011.
19. Miller A, Moon B, Anders S, Walden R, Brown S, Montella D. Integrating computerized clinical decision support systems into clinical work: A meta-synthesis of qualitative research. *International Journal of Medical Informatics*. 2015;84(12): 1009-18. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2015.09.005. Epub 2015 Sep 14. PMID: 26391601.
20. Ronan CE, Crable EL, Drainoni ML, Walkey AJ. The impact of clinical decision support systems on provider behavior in the inpatient setting: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Hospital Medicine*. 2022;17(5): 368-383. doi: 10.1002/jhm.12825. Epub 2022 May 5. PMID: 35514024.
21. Cooke R. Utilization Management and ACR Select. *Radiology Management*. 2015;37(2): 9-12. PMID: 26485890.
22. Official site «European Society of Radiology». Available from: <https://www.myesr.org/esriguide> (Accessed: 27.06.2023).
23. Gusev A. Review of Russian Medical Decision Support Systems (MDSS), 30.12.21. Available from: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-podderzhki-priniatiia-vrachebnykh-reshenii> (Accessed: 28.06.2023). (In Russian).
24. Analysis of the current state of healthcare informatization in the context of the concept of creating a single digital circuit in healthcare, board of the Accounts Chamber of the Russian Federation on May 31, 2022. (In Russian).
25. Sergeev YuA, Sterleva EA, Niazyan DA, Kuchevsky SA, Gukemukhova SM, Avanesov MA. Medical decision making system in medicine. Comparative analysis of the quality of solutions to the tasks set in the course of treatment of different MDSS 2021;4(9). (In Russian).
26. Rebrova OYu. Efficiency of medical decision support systems: assessment methods and results. *Clinical and experimental thyroidology*. 2019;4: 148-155. (In Russian).
27. Ozerov VA, Rudanov YuG. Medical decision support system. *System analysis in design and management*. 2020: 260-272. (In Russian).
28. Official website of the Department of Health of the city of Moscow. Available from: <https://mosgorzdrav.ru/systema-podderzhki-prinyatiya-vrachebnikh-resheniy> (Accessed: 27.06.2023). (In Russian).

Received: June 30, 2023

For correspondence: Zoya A. Lantukh – Head of the department of dosimetry and medical physics, State budgetary Institution of Healthcare of the Moscow City “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health” (Petrovka str., 24, building 1, Moscow, 127051, Russia; E-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>

Mariya P. Shatenok – Expert of department of dosimetry and medical radiation physics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9217-7011>

Yulia V. Druzhinina – Expert of department of dosimetry and medical radiation physics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; Lecturer of the Department of Radiation Hygiene and Radiation Safety named after. F.G. Krotkova of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>

Kirill V. Tolkachev – Expert of department of dosimetry and medical radiation physics, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>

Ilya V. Soldatov – Head of Laboratory, State budgetary Institution of Healthcare of the Moscow City “Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health”, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0640-7368>

Aleksandr V. Vodovатов – PhD, lead research fellow, Head of the Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, 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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

For citation: Lantukh Z.A., Shatenok M.P., Druzhinina Yu.V., Tolkachev K.V., Soldatov I.V., Ryzhov S.A., Vodovатов A.V. Russian decision support systems in radiation diagnostics as an element of ensuring the radiation safety of patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 67-80. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-67-80

Приложение 1

Список нормативно-методических документов в области радиационно-гигиенического регулирования оказания медицинской помощи:

1. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ от 9 января 1996 г. (Ред. 06.2021 г.) Ст. 17. «Обеспечение радиационной безопасности граждан при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур».
2. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г.
3. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности «ОСПОРБ-99/2010».
4. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».
5. СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».
6. СанПиН 2.6.1.3288-15 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии».
7. Серия методических рекомендаций «Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма», 2020 г.

Приложение 2

Перечень требований к СППВР

I. Общие требования к СППВР	
1.	ВЕБ-интерфейс
2.	Наличие регистрационного удостоверения Росздравнадзора
3.	Возможность обновления при издании нового нормативного документа
4.	Достаточная скорость отклика системы
5.	Интегрирована ли система в МИС или РИС
II. Функционал обеспечения принципа обоснования радиационной безопасности пациента	
1.	Приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов
2.	Проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям
3.	Выбор наиболее щадящих и информативных методов рентгенологических исследований
4.	Риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении
5.	Наличие информации о накопленной дозе пациента при принятии решений о назначении исследования (доступный лист учета дозовых нагрузок)
6.	Наличие информации о беременности пациентки при назначении беременных
III. Удобство использования по обеспечению принципа обоснования радиационной безопасности	
1.	Приоритетное использование альтернативных (нерадиационных) методов
2.	Проведение рентгенодиагностических исследований только по клиническим показаниям
3.	Выбор наиболее щадящих методов рентгенологических исследований
4.	Риск отказа от рентгенологического исследования должен заведомо превышать риск от облучения при его проведении
5.	Наличие информации о накопленной дозе пациента при принятии решений о назначении исследования (доступный лист учета дозовых нагрузок)
6.	Наличие информации о беременности пациентки при назначении беременных

Контроль качества при оптимизации радиационной защиты пациентов в радионуклидной диагностике

А.В. Петрякова^{1,2}, Л.А. Чипига^{1,3,4}, А.В. Водоватов^{1,5}, М.Я. Смолярчук^{6,7}

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

³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁶ ООО «Медицина и ядерные технологии», Москва, Россия

⁷ Межрегиональная общественная организация «Общество ядерной медицины», Москва, Россия

Развитие ядерной медицины и, в частности, радионуклидной диагностики в Российской Федерации совместно с внедрением новых технологий обуславливает необходимость разрабатывать и актуализировать методики оптимизации проведения диагностических радионуклидных исследований. Оптимизация радиационной защиты пациентов посредством проведения процедур контроля качества и калибровки оборудования необходима для минимизации уровней облучения пациентов и получения точных и воспроизводимых результатов оценки накопленной активности радионуклида и качественного изображения в целом. Однако в отечественной практике проведение процедур контроля качества и калибровки в радионуклидной диагностике затруднено из-за отсутствия единой системы контроля качества. Целью настоящей работы является определение перечня необходимых процедур контроля качества и калибровки оборудования в отделениях радионуклидной диагностики, гармонизированного между отечественными и зарубежными стандартами и рекомендациями. В работе был проведен анализ отечественных и зарубежных документов, стандартизирующих и содержащих рекомендации к процедурам контроля качества и калибровке гамма-камер и однофотонных эмиссионных томографов. Анализ показал, что в отечественных стандартах для большинства параметров контроля качества не указана периодичность проведения процедур контроля, однако методики оценки данных параметров подробно описаны, для большинства параметров методы контроля качества соответствуют зарубежным методикам или являются взаимозаменяемыми и могут быть использованы при проведении процедур контроля качества. На основании проведенного анализа в работе приведен перечень процедур контроля качества и калибровки гамма-камер и однофотонных эмиссионных томографов с рекомендованной периодичностью, необходимый для оптимизации радиационной защиты пациентов и достижения точных результатов при проведении радионуклидных диагностических исследований методами планарной сцинтиграфии и однофотонной эмиссионной томографии.

Ключевые слова: радиационная защита, ядерная медицина, радионуклидная диагностика, оптимизация, контроль качества.

Введение

За последние несколько десятилетий радионуклидная диагностика (РНД) стала одним из наиболее развивающихся направлений лучевой диагностики в мире [1, 2]. Методы РНД позволяют находить патологические очаги (поражения) на ранних стадиях, поскольку функцио-

нальные (физиологические и биохимические) изменения предшествуют морфологическим, а также дают возможность оценить функционирование систем (например, при сцинтиграфии миокарда) [3, 4]. Развитие технологий и внедрение гибридных систем визуализации, таких как однофотонная эмиссионная компьютерная томография,

Петрякова Анастасия Валерьевна

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: nastya.petryakova@gmail.com

совмещенная с компьютерной томографией (ОФЭКТ/КТ), и позитронная эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), повышает диагностическую информативность методов и позволяет проводить количественную оценку активности и размеров патологических очагов [5, 6]. Вместе с тем, по мере изучения заболеваний расширяется спектр радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), применяемых в РНД. Все более значимым становится подход, подразумевающий разработку тераностических РФЛП (например, ^{177}Lu -ДОТА-ТАТЕ) или тераностических пар, когда одна молекула метится либо терапевтическим, либо диагностическим радионуклидом (например, ^{225}Ac -ПСМА и ^{68}Ga -ПСМА) [7]. Это не только расширяет диагностические возможности РНД, но и играет важную роль в персонализированном подходе к планированию радионуклидной терапии (РНТ) за счет возможности определить накопленную активность радионуклида и, соответственно, рассчитать поглощенную дозу в патологических очагах и критических органах до проведения РНТ [8]. При этом поскольку количественная оценка накопленной активности радионуклида непосредственно связана с определением поглощенной дозы, методика ее определения должна быть точной и воспроизводимой на всех этапах лечения пациента.

Развитие технологий ядерной медицины, внедрение гибридных методов диагностики и расширение спектра их применения приводят к росту доз облучения населения от этой области медицины. Анализ тенденций развития ядерной медицины за 5 лет в Российской Федерации, проведенный Чипига Л.А. и др. [2], показал рост средней дозы за исследование в РНД с 2,5 мЗв до 6,7 мЗв и рост коллективной дозы с 1,2 до 3,7 тыс. чел.-Зв. за период 2015–2020 гг. При этом наибольший вклад в коллективную дозу вносят томографические исследования, а наиболее часто проводятся исследования костной системы в планарном режиме (более 40% проводимых в стра-

не исследований). Согласно ОСПОРБ-99/2010¹ и МУ 2.6.1.1892-04², радиационная безопасность при медицинском облучении обеспечивается за счет принципов обоснования исследований и оптимизации радиационной защиты пациента. Реализация обоих этих принципов возможна при обеспечении качества проведения исследований и регулярного контроля качества (КК) работы оборудования и результатов исследования (изображения). Проведение процедур подготовки оборудования и КК имеет важное значение с точки зрения обеспечения минимально возможного радиационного воздействия на пациента во время исследования и обеспечения радиационной защиты пациента, а также является важным аспектом получения точных и воспроизводимых результатов оценки накопленной активности радионуклида и качественного изображения в целом.

Большинство процедур КК в РНД рекомендуются поставщиками или основаны на стандартах международных организаций: Национальной ассоциации производителей электротехники (NEMA) и Международной электротехнической комиссии (IEC) [9–11]. В Российской Федерации на сегодняшний день документами, стандартизирующими испытания для обеспечения КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ), являются: ГОСТ Р МЭК/ТО 61948-2³, ГОСТ Р МЭК 60789⁴, ГОСТ IEC 61675-2⁵, ГОСТ IEC 61675-3⁶, основанные на международных стандартах (IEC). Помимо международных стандартов, Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) [12], Американской ассоциацией физиков в медицине (AAPM) [13], а также Европейской ассоциацией ядерной медицины (EANM) [14] разработаны технические документы по КК оборудования.

В отечественной практике КК оборудования, как правило, ограничивается процедурами, которые на регулярной основе требуются системой для работы, и сервисным обслуживанием. При этом единая система КК, включающая требования к процедурам КК и калибровке оборудо-

¹ 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.)] (далее – ОСПОРБ-99/2010).

² МУ 2.6.1.1892-04 Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов [Guidelines 2.6.1.1892-04 Hygienic requirements for ensuring radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals (In Russ.)]

³ Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р МЭК/ТО 61948-2-2008. Оборудование для радионуклидной диагностики. Эксплуатационные испытания. Часть 2. Сцинтилляционные камеры и однофотонные компьютерные томографы. М.: Стандартинформ, 2009 [National standards of the Russian Federation: GOST 61948-2-2008. Nuclear medicine instrumentation. Routine tests. Part 2: Scintillation cameras and single photon emission computed tomography imaging. Moscow: Standardinform; 2009. (In Russ.)]

⁴ Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р МЭК 60789-2010. Характеристики и методы испытаний радионуклидных визуализирующих устройств гамма-камер типа Ангера. М.: Стандартинформ, 2012 [National standards of the Russian Federation: GOST 60789-2010. Characteristics and test conditions of radionuclide imaging devices. Anger type gamma cameras. Moscow: Standardinform; 2012. (In Russ.)]

⁵ Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ IEC 61675-2-2011. Устройства визуализации радионуклидные. Характеристики и условия испытаний. Часть 2. Однофотонные эмиссионные компьютерные томографы. М.: Стандартинформ, 2019 [National standards of the Russian Federation: GOST 61675-2-2011. Radionuclide imaging devices — Characteristics and test conditions. Part 2: single photon emission computed tomography imaging. Moscow: Standardinform; 2019. (In Russ.)]

⁶ Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ IEC 61675-3-2011. Оборудование для радионуклидной диагностики. Эксплуатационные испытания. Часть 3. Системы визуализации всего тела на базе гамма-камеры. М.: Стандартинформ, 2019 [National standards of the Russian Federation: GOST 61675-3-2011. Radionuclide imaging devices. Characteristics and test conditions. Part 3: Gamma camera based whole body imaging systems. Moscow: Standardinform; 2019. (In Russ.)]

вания и их периодичности в РНД, отсутствует, что может приводить к искаженным изображениям и неверной интерпретации полученной диагностической информации, которая может повлечь за собой повторное исследование пациента и увеличение дозовой нагрузки. Тем не менее, в ПЭТ и КТ система методов КК оборудования и калибровки для оптимизации радиационной защиты была определена в МУК 2.6.7.3651-20⁷ и МУК 2.6.7.3652-20⁸, а также в статьях [15–16]. Таким образом, актуальным является вопрос разработки единой системы КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ) с целью обеспечения качества проводимых исследований и оптимизации радиационной защиты пациентов.

Цель исследования – определение перечня необходимых процедур КК и калибровки оборудования в отделениях РНД, гармонизированного между отечественными и зарубежными стандартами и рекомендациями.

Материалы и методы

Для определения перечня процедур КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ) были рассмотрены отечественные ГОСТы, а также регулирующие документы международных организаций: МАГАТЭ [12], AAPM [13] и EAMN [14]. Также был проведен анализ научных публикаций с использованием библиографических баз данных: Pubmed/MEDLINE, Google Scholar и eLIBRARY по ключевым словам: gamma camera, SPECT, quality control, гамма-камера, ОФЭКТ, контроль качества. В анализ включались источники не старше 10 лет. Суммарно за данный период по поисковым запросам «gamma camera quality control», «SPECT quality control», «Контроль качества гамма-камер», «Контроль качества оборудования ОФЭКТ» в базах данных было найдено 730 научных публикаций. После проведения поискового запроса и предварительного анализа были исключены дублирующие результаты, затем было рассмотрено текстовое содержание и исключены публикации, не удовлетворяющие запросу. Во всех литературных источниках предметом рассмотрения являлись процедуры КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ), которые включают параметры КК и методики их измерения и оценки, а также принципы КК в РНД.

Результаты и обсуждение

Оборудование в РНД можно разделить на основное диагностическое и вспомогательное измерительное. К основному оборудованию относится: гамма-камеры, используемые для получения двумерных изображений; ОФЭКТ, используемые для получения трехмерных изображений [6]. К вспомогательному оборудованию, как правило, относится измерительное оборудование: радиометры, гамма-зонды, дозиметры. Процедурам КК подлечит как основное, так и вспомогательное оборудование.

КК оборудования в РНД начинается с приемочных испытаний, включая первичную поверку вспомогательного оборудования, и проводится регулярно в виде периодических процедур КК и периодической поверки вспомогательного оборудования.

Приемочные испытания проводятся представителями производителя оборудования или аккредитованными лабораториями. Приемочные испытания представляют собой набор стандартных процедур, предназначенных для проверки того, что оборудование работает в соответствии со спецификациями производителя и удовлетворяет клинической задаче. Результаты приемочных испытаний формируют эталонные значения параметров для последующих испытаний, поэтому все рекомендованные процедуры КК оборудования должны быть проведены в качестве приемочных испытаний, а их результаты зафиксированы.

Периодические испытания в зарубежной практике проводятся уполномоченным персоналом (например, техник, инженер, медицинский физик), в то время как в отечественной практике периодические испытания должны проводиться аккредитованными лабораториями, в связи с чем отдельно выделяют тип испытаний на постоянство параметров, которые могут проводиться уполномоченным персоналом. Целью периодических испытаний и испытаний на постоянство параметров является проверка того, что все составляющие системы работают исправно, а получаемое качество исследования остается неизменным. Это снижает вероятность повторного проведения исследования пациента и дает возможность проведения процедур оптимизации с целью снижения дозы пациента, например, за счет настроек оборудования и параметров протоколов сканирования и последующей возможности снижения вводимой активности РФЛП. Однако данные условия необходимо выбирать таким образом, чтобы качество получаемого изображения являлось оптимальным. Таким образом, оптимизация радиационной защиты пациента при проведении радионуклидных диагностических исследований путем проведения процедур КК оборудования обеспечивается за счет регулярной проверки работоспособности всех компонентов системы и качества получаемых изображений.

Методики проведения процедур КК оборудования представляют собой измерение и оценку (сопоставление с эталонными значениями, полученным при приемочных испытаниях) параметров КК с использованием дополнительных оборудования и материалов (табл.). Основополагающими принципами КК в РНД являются регулярность проведения процедур КК и их тщательное протоколирование. В соответствии с принципами КК результаты измерений параметров КК должны быть внесены в систему и/или сопоставлены с эталонными значениями, полученными при приемочных испытаниях.

⁷ МУК 2.6.7.3651-20 «Методы контроля качества в ПЭТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2020 [МУК 2.6.7.3651-20 “Quality control methods in PET diagnostics for optimization of radiation protection”. Rospotrebnadzor, 2020 (In Russ.)]

⁸ МУК 2.6.7.3652-20 «Методы контроля качества в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2020 [МУК 2.6.7.3652-20 “Quality control methods in CT diagnostics for optimization of radiation protection”. Rospotrebnadzor; 2020 (In Russ.)]

Результаты должны быть задокументированы протоколами проведения процедур контроля и другими формами отчетности и содержать в себе все настройки оборудования, которые были установлены при проведении процедуры КК. При неудовлетворительных результатах процедур контроля оборудования, то есть при отклонении значений параметров КК выше допустимых значений, указанных в методиках [17], работа на нем приостанавливается до устранения выявленных несоответствий. После мероприятий по устранению причин несоответствий (например, настройка, техническое обслуживание, ремонт, поверка) проводят повторные испытания.

При применении методов радионуклидной диагностики для получения количественной оценки накопленной активности в очагах с высокой точностью, которая может ухудшаться вследствие применения поправок на затухание, рассеяние и ограниченное разрешение, помимо процедур КК, важно также проводить процедуры калибровки по активности радионуклидов с последующим определением калибровочных факторов [18, 19]. Калибровка по активности проводится с использованием специализированного фантома, заполненного раствором используемого радионуклида. Сканирование фантома следует проводить на клиническом протоколе, используемом при сканировании пациентов. Калибровочный фак-

тор определяется как измеренное число счетов в очаге (достаточно крупном, чтобы минимизировать эффект частичного объема) на изображении фантома, отнесенное к введенной активности. Калибровка по активности должна выполняться для каждого используемого радионуклида и соответствующего коллиматора. Помимо этого, при проведении количественной оценки важно помнить о синхронизации всех часов на каждой единице оборудования и в помещении.

Выполненный анализ литературы показал, что большинство отечественных ГОСТов не регламентируют периодичность проведения процедур КК и калибровки гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ). При этом методики проведения оценки параметров КК подробно описаны, для большинства параметров методики КК соответствуют зарубежным, представленным в технической документации международных организаций, или являются взаимозаменяемыми и могут быть использованы при оценке отдельных параметров. На основании проведенного анализа документов был сформирован перечень процедур КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ) с рекомендуемой периодичностью для обеспечения качества радионуклидных исследований в отечественной практике. Данный перечень представлен в таблице, а также был включен в раздел методических рекомендаций (МР) «Обеспечение и контроль качества

Таблица

Перечень процедур КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ), рекомендуемая периодичность и дополнительное оборудование

[Table

List of the gamma camera and SPECT or SPECT/CT quality control procedures, recommended frequency, and additional equipment]

Процедура [Procedure]	Периодичность [Frequency]	Тип испытания [Examination type]	Методика [Methodology]	Дополнительные оборудование и материалы [Additional equipment and materials]
Измерительное оборудование (радиометр) [Measuring equipment (radiometer)]				
Определение показателя нулевого значения [Zero value determination]	Ежедневно, до начала работы на приборе [Daily]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	Техническая документация [Equipment manual]	–
Контроль стабильности [Stability control]	Ежедневно, до начала работы на приборе [Daily]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	МУК 2.6.7.3651-20	Контрольный источник [Reference source]
Контроль линейности [Linearity control]	Не реже 1 раза в 3 месяца [3-monthly]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	МУК 2.6.7.3651-20	Флакон с радионуклидом [Radionuclide vial]
Гамма-камера, ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ [Gamma camera, SPECT and SPECT/CT]				
Калибровка энергетического окна [Energy window calibration]	Ежедневно, до начала работы [Daily]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	[12–14, 17]	Точечный источник используемого радионуклида [Point source with used radionuclide]
Контроль фоновой скорости счета [Background count rate determination]	Ежедневно, до начала работы [Daily]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	[12, 14, 17]	–
Контроль собственной неоднородности [Intrinsic uniformity control]	Ежедневно, до начала работы [Daily]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	[12–14, 17]	Точечный источник используемого радионуклида [Point source with used radionuclide]

Процедура [Procedure]	Периодичность [Frequency]	Тип испытания [Examination type]	Методика [Methodology]	Дополнительные оборудование и материалы [Additional equipment and materials]
Контроль размера пикселя [Pixel size control]	Не реже чем 1 раз в полгода [Half-yearly]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	ГОСТ Р МЭК/ТО 61948-2 [12, 17]	Два точечных источника ^{99m} Tc или ⁵⁷ Co [Two point sources with ^{99m} Tc or ⁵⁷ Co]
Контроль системной неоднородности [Extrinsic uniformity control]	Не реже чем 1 раз в квартал [Quarterly]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК/ТО 61948-2 [12–14, 17]	Плоский источник ^{99m} Tc или другого используемого радионуклида [Flat source with ^{99m} Tc or another radionuclide]
Контроль собственной неоднородности вне центра фотопика [Intrinsic off-peak uniformity control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	[12, 13, 17]	Точечный источник ^{99m} Tc [Point source with ^{99m} Tc]
Контроль собственного пространственного разрешения и пространственной линейности [Intrinsic spatial resolution and linearity control]	Не реже чем 1 раз в квартал [Quarterly]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК 60789 [12–14, 17]	Фантом с квадрантами полос и плоский источник ^{99m} Tc или ⁵⁷ Co [Quadrant-bar phantom and flat source with ^{99m} Tc or ⁵⁷ Co]
Контроль системного пространственного разрешения [Extrinsic spatial resolution control]	Не реже чем 1 раз в квартал [Quarterly]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК 60789 [12–14, 17]	Фантом с квадрантами полос и линейный источник ^{99m} Tc [Quadrant-bar phantom and linear source with ^{99m} Tc]
Контроль системной чувствительности [Intrinsic sensitivity control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК 60789 [12–14, 17]	Источник в виде диска с ^{99m} Tc или фантом для измерения чувствительности с ^{99m} Tc [Disc source and sensitivity phantom with ^{99m} Tc]
Контроль энергетического разрешения [Energy resolution control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	[13, 17]	Точечные источники ^{99m} Tc и ⁵⁷ Co [Point source with ^{99m} Tc and ⁵⁷ Co]
Контроль собственной скорости счета [Intrinsic count rate determination]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК 60789 [13, 17]	Точечный источник ^{99m} Tc и свинцовый цилиндр с крышкой из медного фильтра [Point source with ^{99m} Tc and lead cylinder with copper filter cap]
Контроль пространственного разрешения в режиме сканирования всего тела [Whole body scanning spatial resolution control]	Не реже, чем 1 раз в год [Annually]	Периодический (рекомендуемый) [Periodical (recommended)]	[13, 17]	Два линейных источника ^{99m} Tc [Two linear sources with ^{99m} Tc]
Проверка в режиме пространственной регистрации множественного окна [Multiple window spatial registration control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический (рекомендуемый) [Periodical (recommended)]	ГОСТ Р МЭК 60789 [12, 13, 17]	Точечный источник и цилиндр с отверстиями на дне диаметром 5 мм или 5 точечных источников [Point source and cylinder with holes on the bottom with a diameter of 5 mm or 5 point sources]
Калибровка по активности радионуклида [Radionuclide activity-based calibration]	Не реже чем 1 раз в квартал [Quarterly]	Периодический [Periodical]	[18]	Специализированный фантом [Specialized phantom]

Процедура [Procedure]	Периодичность [Frequency]	Тип испытания [Examination type]	Методика [Methodology]	Дополнительные оборудование и материалы [Additional equipment and materials]
Дополнительные процедуры для ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ [Additional procedures for SPECT and SPECT/CT]				
Калибровка центра вращения и наклона головки детектора [Center of rotation and gantry tilt calibration]	Не реже чем 1 раз в месяц [Monthly]	На постоянство параметров [Parameter constancy]	ГОСТ IEC 61675-2, [12–14]	Точечный источник ^{99m} Tc [Point source with ^{99m} Tc]
Контроль нормализованной чувствительности объема [Normalized volume sensitivity control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical (recommended)]	ГОСТ IEC 61675-2 [13]	Цилиндрический фантом [Cylindrical phantom]
Контроль томографической неоднородности [Tomographic uniformity control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	ГОСТ Р МЭК 60789 [12, 13, 17]	Цилиндрический фантом [Cylindrical phantom]
Контроль томографического пространственного разрешения [Tomographic spatial resolution control]	Не реже чем 1 раз в год [Annually]	Периодический [Periodical]	ГОСТ IEC 61675-2 [12–14, 17]	Линейный источник ^{99m} Tc [Linear source with ^{99m} Tc]
Контроль качества томографического изображения с фантомом (полный тест) [Image quality control with phantom (full test)]	Не реже чем 1 раз в квартал [Quarterly]	Периодический [Periodical]	[12–14, 17]	Специализированный фантом [Specialized phantom]
Выравнивание между ОФЭКТ и КТ [SPECT and CT gantry alignment]	Не реже чем 1 раз в год или при каждой механической регулировке компонентов системы [Annually or after adjustment]	Периодический [Periodical]	[13, 14, 17]	Специализированный фантом [Specialized phantom]

При ОФЭКТ/КТ также проводят приемочные испытания и периодические испытания КТ согласно нормативной и технической документации для КТ и МУК 2.6.7.3652–20 [during SPECT/CT, acceptance tests and periodic tests of CT are also carried out in accordance with the regulatory and technical documentation for CT and MUK 2.6.7.3652–20.]

исследований в радионуклидной диагностике» [17], выпущенных в 2023 г. Российским обществом ядерной медицины, где были подробно описаны методики проведения представленных процедур КК гамма-камер и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ). Настоящий перечень является полным, однако не исчерпывающим, поскольку отдельные системы могут включать нетипичные технологии, для которых также необходимо проводить дополнительные процедуры КК в соответствии с требованиями производителя.

Для каждого отделения РНД рекомендуется четко определить и составить подробные индивидуальные планы рутинных процедур КК каждой единицы используемого оборудования согласно технической документации, нормативно-методической документации и исходя из индивидуальных особенностей оборудования и

клинических задач. План рутинных процедур КК должен включать в себя сведения о: методиках проведения процедур, включая настройки оборудования, необходимом дополнительном оборудовании и материалах, допустимых отклонениях параметров КК; периодичности/дате проведения; ответственном лице за проведение процедуры. Представленные в данной работе процедуры КК и калибровки оборудования и их периодичность являются рекомендуемыми и могут быть приняты во внимание при составлении плана рутинных процедур КК.

Заключение

В работе рассмотрены и представлены систематизированные и гармонизированные с международными документами рекомендуемые процедуры КК и калибровки

оборудования, которые должны проводиться при оптимизации радиационной защиты пациентов и для получения точных результатов при проведении радионуклидных диагностических исследований методами планарной сцинтиграфии и ОФЭКТ (ОФЭКТ/КТ). Необходимый перечень процедур КК был включен в МР «Обеспечение и контроль качества исследований в радионуклидной диагностике», выпущенные в 2023 г. Российским обществом ядерной медицины. Внедрение процедур КК и калибровки оборудования в соответствии с принципами КК в практику работы в отделениях РНД поспособствует повышению качества и точности результатов, проводимых исследований, в частности, результатов количественной оценки накопленной активности, что является неотъемлемой частью оптимизации радиационной защиты пациента. Результаты данной работы будут использованы при переработке и актуализации действующих отечественных регулирующих документов по обеспечению радиационной безопасности в РНД.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Петрякова А.В. – определение цели исследования, поиск и анализ литературы, интерпретация полученных результатов, написание текста.

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, интерпретация полученных результатов, написание текста.

Водоватов А.В. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста.

Смолярчук М.Я. – обсуждение результатов исследования.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу работников МР «Обеспечение и контроль качества исследований в радионуклидной диагностике», в частности: Ларенкову А.А., Кодиной Г.Е., Малышевой А.О., Дороватовскому С.А., Рыжову С.А., Поспелову В.А., Василенко Е.И.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена за счет средств Межрегиональной общественной организации содействия развитию ядерной медицины «Общество ядерной медицины» (МОО «Общество ядерной медицины»).

Литература

- Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
- Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В., и др. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 122-133. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133>.
- Hyaflil F., Gimelli A., Slart R.H.J.A., et al. Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for myocardial perfusion scintigraphy using cardiac-centered gamma cameras // European Journal of Hybrid Imaging. 2019. Vol. 3, No 1. P. 11. doi: 10.1186/s41824-019-0058-2.
- Kapucu O.L., Nobili F., Varrone A., et al. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using 99mTc-labelled radiopharmaceuticals, version 2 // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2009. Vol. 36, No 12. P. 2093-102. doi: 10.1007/s00259-009-1266-y.
- Dickson J.C., Armstrong I.S., Gabiña P.M., et al. EANM practice guideline for quantitative SPECT-CT // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2023. Vol. 50. P. 980–995. <https://doi.org/10.1007/s00259-022-06028-9>.
- Kurkowska S., Birkenfeld B., Piwowska-Bilska H. Physical quantities useful for quality control of quantitative SPECT/CT imaging // Nuclear medicine in Central and Eastern Europe. 2021. Vol. 24, No 2. P. 93-98. doi: 10.5603/NMR.2021.0020.
- Yadav M.P., Ballal S., Sahoo R.K., et al. Efficacy and safety of 225Ac-PSMA-617 targeted alpha therapy in metastatic castration-resistant Prostate Cancer patients // Theranostics. 2020. Vol. 10, No 20. P. 9364-9377. doi: 10.7150/thno.48107.
- Marquis H., Deidda D., Gillman A., et al. Theranostic SPECT reconstruction for improved resolution: application to radionuclide therapy dosimetry // EJNMMI Physics. 2021. No 8. 16 p. <https://doi.org/10.1186/s40658-021-00362-x>.
- NEMA Standards Publication NU 2-2018: Performance Measurements of Gamma Cameras, NEMA. Washington, 2018.
- National Electrical Manufacturers Association. NEMA NU 1. Performance measurement of scintillation cameras. Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association, 2007.
- Busemann Sokole E., Płachcinska A., Britten A., et al. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2010. Vol. 37, No 3. P. 662-71. doi: 10.1007/s00259-009-1347-y.
- International Atomic Energy Agency, Quality Assurance for SPECT Systems, IAEA Human Health Series No. 6, IAEA. Vienna, 2009.
- The report of AAPM task group 177: Acceptance Testing and Annual Physics Survey Recommendations for Gamma Camera, SPECT, and SPECT/CT Systems. Alexandria, 2019.
- European Association of Nuclear Medicine. EANM Technologists Guide. Quality Control of Nuclear Medicine Instrumentation and Protocol Standardisation. Vienna: EANM, 2017.
- Чипига Л.А., Водоватов А.В., Катаева Г.В., и др. В. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в позитронно-эмиссионной томографии // Медицинская физика. 2019. Т. 82, № 2. С. 78–92.
- Дружинина П.С., Чипига Л.А., Рыжов С.А., и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 17-33. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>.
- Обеспечение и контроль качества исследований в радионуклидной диагностике: Методические рекомендации. М.; СПб.: Издательство РХГА, 2023. 110 с.
- Sgouros G., Bolch W.E., Chiti A., et al. ICRU REPORT 96, Dosimetry-Guided Radiopharmaceutical Therapy. Journal of the ICRU. 2021, Vol. 21, N 1. P. 1-212. doi:10.1177/14736691211060117.
- Наркевич Б.Я., Крылов А.С., Рыжов А.Д., Гелиашвили Т.М. Дозиметрическое сопровождение радионуклидной терапии // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2023. Т. 6, № 2. С. 66-84. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2023-6-2-66-84>.

Поступила: 24.07.2023 г.

Петрякова Анастасия Валерьевна – и.о. младшего научного сотрудника 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; инженер по радиационной безопасности СПб ГБУЗ «Городская больница № 40». **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: nastya.petryakova@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2663-9091>

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, Санкт-Петербург, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9153-3061>

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

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Смолярчук Максим Ярославович – врач-радиолог, заместитель главного врача по КЭР ООО «Медицина и ядерные технологии», президент МОО «Общество ядерной медицины», Москва, Россия

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9819-8657>

Для цитирования: Петрякова А.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я. Контроль качества при оптимизации радиационной защиты пациентов в радионуклидной диагностике // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 81-90. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90

Equipment quality control during patient radiation protection optimisation in radionuclide diagnostics

Anastasia V. Petryakova^{1,2}, Larisa A. Chipiga^{1,3,4}, Aleksandr V. Vodovатов^{1,5}, Maksim Ya. Smolyarchuk^{6,7}

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 The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint-Petersburg, Russia

³ A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁵ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

⁶ “Medicine and Nuclear Technologies” LLC, Moscow, Russia

⁷ Association of Nuclear Medicine, Moscow, Russia

The development of nuclear medicine and, in particular, radionuclide diagnostics in the Russian Federation and the introduction of new technologies causes the necessity of the development and actualizing of the methods of the radionuclide diagnostics optimisation. Patient radiation protection optimisation through the equipment quality control and calibration is necessary to minimize the patient exposure levels and to obtain accurate and reproducible results of the uptake activity evaluation and high-quality image. However, in the national practice, conducting the equipment quality control and calibration is difficult due the lack of the requirements and methodology for quality control. The aim of the current study is the determination of the list

Anastasia V. Petryakova

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

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

of the necessary equipment quality control and calibration procedures in the radionuclide diagnostics department which will be harmonized between national and foreign standards and guidelines. The analysis of the national and the foreign documents standardized and recommended the gamma-camera and single photon emission computed tomography quality control and calibration procedures was performed in the study. The analysis demonstrated the national standards do not involve the frequency of the quality control for the most parameters. However, the methodology in the national standards is completely described, meets with foreign methodology and can be interchangeable, and can be used for quality control. Based on the analysis the list of the gamma camera and single photon emission computed tomography quality control and calibration procedures with recommended frequency, which is necessary for patient radiation protection optimisation and achievement of the accurate diagnostic results, are presented in the study.

Key words: radiation protection, nuclear medicine, radionuclide diagnostics, optimisation, quality control.

Personal contribution of the authors

Petryakova A.V.– determination of the aim of the study, search and analysis of the literature, interpretation of the results, text writing.

Chipiga L.A.– scientific management of the study, interpretation of the results, text writing.

Vodovатов A.V.– analysis and interpretation of the results, discussion of the study results, text editing.

Smolyarchuk M.Ya.– discussion of the study results.

Acknowledgements

The authors thank the development team of the Guidelines “Quality assurance and quality control of the examinations in radionuclide diagnostics”, especially thank Larenkov A.A., Kodina G.E., Malysheva A.O., Doratovsky S.A., Ryzhov S.A., Pospelov V.A., Vasilenko E.I.

Information about the conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Information about the source of funding

The work was performed with funding provided by Russian Society of Nuclear Medicine.

References

1. Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
2. Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovатов AV, Zvonova IA, Mosunov AA, Naurzbaeva LT, et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4):122-133. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133> (In Russian).
3. Hyafil F, Gimelli A, Slart RHJA, Georgoulas P, Rischpler C, Lubberink M, et al. Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for myocardial perfusion scintigraphy using cardiac-centered gamma cameras. *European Journal of Hybrid Imaging*. 2019;3(1):11. doi: 10.1186/s41824-019-0058-2.
4. Kapucu OL, Nobili F, Varrone A, Booi J, Vander Borgh T, Nägren K, et al. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals, version 2. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2009;36(12):2 093-102. doi: 10.1007/s00259-009-1266-y.
5. Dickson JC, Armstrong IS, Gabiña PM, et al. EANM practice guideline for quantitative SPECT-CT. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2023;50:980–995. <https://doi.org/10.1007/s00259-022-06028-9>.
6. Kurkowska S, Birkenfeld B, Piwowska-Bilska H. Physical quantities useful for quality control of quantitative SPECT/CT imaging. *Nuclear medicine in Central and Eastern Europe*. 2021;24(2): 93-98. doi: 10.5603/NMR.2021.0020.
7. Yadav MP, Ballal S, Sahoo RK, Tripathi M, Seth A, Bal C. Efficacy and safety of ²²⁵Ac-PSMA-617 targeted alpha therapy in metastatic castration-resistant Prostate Cancer patients. *Theranostics*. 2020;10(20): 9364-9377. doi: 10.7150/thno.48107.
8. Marquis H, Deidda D, Gillman A, et al. Theranostic SPECT reconstruction for improved resolution: application to radionuclide therapy dosimetry. *EJNMMI Physics*. 2021;8: 16. <https://doi.org/10.1186/s40658-021-00362-x>.
9. NEMA Standards Publication NU 2-2018: Performance Measurements of Gamma Cameras, NEMA. Washington, 2018.
10. National Electrical Manufacturers Association. NEMA NU 1. Performance measurement of scintillation cameras. Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association, 2007.1
11. Busemann Sokole E, Plachcinska A, Britten A, Lyra Georgosopoulou M, Tindale W, Klett R. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2010;37(3): 662-71. doi: 10.1007/s00259-009-1347-y.
12. International Atomic Energy Agency, Quality Assurance for SPECT Systems, IAEA Human Health Series No. 6, IAEA. Vienna; 2009.
13. The Report of AAPM Task Group 177: Acceptance Testing and Annual Physics Survey Recommendations for Gamma Camera, SPECT, and SPECT/CT Systems. Alexandria; 2019.
14. European Association of Nuclear Medicine. EANM Technologists Guide. Quality Control of Nuclear Medicine Instrumentation and Protocol Standardisation. Vienna: EANM; 2017.
15. Chipiga LA, Vodovатов AV, Kataeva GV, Ryzhkova DV, Dolgushin MB, Menkov MA, et al. Proposals of Quality Assurance in Positron Emission Tomography in Russia. *Medical Physics*. 2019;82(2): 78–92. (In Russian).
16. Druzhinina PS, Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovатов AV, Berkovich GV, Smirnov AV, et al. Proposals for the Russian quality assurance program in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 17-33. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>. (In Russian).
17. Guidelines “Quality assessment and quality control of the examinations in radionuclide diagnostics”. Moscow; St. Petersburg: RKHGA publishing house; 2023. 110 p.
18. Sgouros G, Bolch WE, Chiti A, et al. ICRU REPORT 96, Dosimetry-Guided Radiopharmaceutical Therapy. *Journal of the ICRU*. 2021;21(1): 1-212. doi:10.1177/14736691211060117.
19. Narkevich BYa, Krylov AS, Ryzhkov AD, Geliashvili TM. Dosimetric Support of Radionuclide Therapy. *Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023;6(2): 66-84. <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2023-6-2-66-84> (In Russian).

Received: July 24, 2023

For correspondence: Anastasia V. Petryakova – acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; radiation safety engineer, Saint-Petersburg City Hospital No. 40, (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: nastya.petryakova@gmail.com)

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2663-9091>

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 Well-Being; 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, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9153-3061>

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 Well-Being; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>

Maksim Ya. Smolyarchuk – Radiologist, Deputy Director of Clinical and Expert Work of “Medicine and Nuclear Technologies” LLC, President of Association of Nuclear Medicine, Moscow, Russia

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9819-8657>

For citation: Petryakova A.V., Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Smolyarchuk M.Ya. Equipment quality control during patient radiation protection optimisation in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 81-90. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90

Методические особенности наблюдения за многолетней динамикой малых уровней трития в окружающей среде

В.С. Репин, К.В. Варфоломеева, С.А. Зеленцова, К.А. Седнев, Г.В. Архангельская

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

В статье рассмотрены методические особенности обеспечения многолетних наблюдений за динамикой изменений малых уровней трития в водных объектах окружающей среды, расположенных в местах потенциального выноса трития. На примере измерений трития на низкофоновом жидкостном сцинтилляционном альфа-, бета- радиометре излучения «Quantulus 1220-003» показано, что точность оценки абсолютных значений удельной активности трития в исследуемых пробах при его малых уровнях существенно связана со скоростью счета фонового образца. При планировании длительных динамических наблюдений за изменениями малых уровней трития в водных объектах необходимо заранее предусмотреть ряд факторов, от которых зависит точность оценок. Одним из наиболее значимых факторов является наличие фонового образца со скоростью счета не более 0,6 имп/мин, который обеспечивает возможность измерения удельной активности трития 1 Бк/л в течение 12 ч. Стабильность и воспроизводимость результатов можно контролировать с помощью эталонного раствора, который должен использоваться на протяжении всего периода динамического наблюдения. Градуировка прибора с помощью эталонного раствора должна предусматриваться каждый раз при смене сцинтилляционного коктейля, поскольку могут быть различия эффективности до 10% при использовании однотипных сцинтилляторов с разным сроком хранения. Для подготовки счетных образцов следует выбирать помещения с минимальными уровнями трития во влаге воздуха и на существенном удалении от помещений, где проводятся работы с повышенными уровнями активности трития. При повторном использовании виал следует иметь в виду, что эффективность регистрации трития может снизиться, поэтому при употреблении таких виал следует также провести градуировочные измерения эталонных растворов.

Ключевые слова: тритий, окружающая среда, малые уровни, жидкостная спектрометрия, мониторинг, длительные динамические наблюдения, фоновый образец, эталонный образец, точность измерений.

Введение

В связи с планируемым сбросом радиоактивной воды в океан из резервуаров АЭС «Фукусима-1», содержащей высокие активности трития, контроль за содержанием данного радионуклида в прибрежных водах, в осадках и открытых водоемах становится актуальным.

Источниками попадания трития в окружающую среду, наряду с космогенным [1, 2], являются атомные станции [3–6], производство и применение изделий на основе трития и тритий-содержащих соединений [7–10], исследования по реализации термоядерного синтеза [11, 12]. К потенциальным источникам поступления больших уровней трития можно отнести отмеченный выше сброс тритиевой воды в океан из резервуаров АЭС «Фукусима-1» [13, 14], а также вынос из мест захоронения особых радиоактивных отходов, образовавшихся при проведении мирных ядерных взрывов и др. [15–19].

Наличие космогенной компоненты характеризовалось концентрацией трития в осадках до начала проведения ядерных взрывов в атмосфере, удельная активность которого составляла $0,3 \pm 0,06$ Бк/л воды. После термоядерных взрывов концентрация трития в осадках превышала это значение в десятки-сотни раз [20].

Среднегодовое значение объемной активности трития в атмосферных осадках на территории Российской Федерации в 2021 г. составляло 1,48 Бк/л, в 2022 г. – 1,8 Бк/л. Колебания годовых выпадений трития связаны с изменчивостью процессов его выведения из атмосферы и поступления в атмосферу от естественных и техногенных источников [21].

В системе радиационного мониторинга Росгидромета на территории Российской Федерации (РФ) имеется 15 пунктов отбора проб трития из рек. Уровни выброса трития атомными станциями РФ одного из основных источников поступления трития в атмосферу достигают,

Репин Виктор Степанович

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

по данным [21], единиц и десятков терабеккерель (ТБк), но не превосходят разрешенных уровней – сотен и тысяч ТБк. Суммарный годовой выброс и сброс атомных станций достигает 44 ТБк.

По данным, представленным в [22], общее количество трития, содержащегося в радиоактивной воде, хранящейся в резервуарах АЭС «Фукусима-1», по состоянию на январь 2020 г. составляет 860 трлн беккерелей (трлн Бк), что намного превосходит суммарный выброс всех АЭС РФ, поэтому может повлиять на уровни трития в океане и в окружающей среде.

По данным Росгидромета [21,23], как в осадках, так и в речной воде в период с 2006 по 2021 г. наблюдаются колебания трития с тенденцией к постепенному снижению. Можно также судить о глобальном характере распространения трития в РФ и в мире.

Несмотря на значительные выбросы данного радионуклида в атмосферу, диапазон измеряемых величин вне мест выбросов и сбросов радиационных объектов, благодаря процессам атмосферного разбавления и перемешивания, невелик – от 1 до 5 Бк/л. Измерение таких уровней в динамике требует использования особых методических подходов, тогда как при измерении высоких уровней содержания трития в местах выброса, наблюдения за динамикой не вызывают измерительных трудностей [24]. Опыт, приобретенный при измерении малых уровней трития на низкофономом жидкостном сцинтилляционном спектрометрическом альфа-, бета-радиометре излучения спектрометрическом «Quantulus 1220-003», позволил выявить ряд существенных факторов, от которых может зависеть точность измерений при проведении длительных динамических наблюдений.

Цель исследования – оценка влияния различных факторов на чувствительность и точность измерений малых уровней трития в ходе длительных динамических наблюдений.

Материалы и методы

Все измерения проб трития выполнялись на низкофономом жидкостном сцинтилляционном спектрометрическом альфа-, бета- радиометре излучения спектрометрическом «Quantulus 1220-003» производства фирмы PerkinElmer (Нидерланды). Счетные образцы готовились в соответствии с методикой выполнения измерений активности альфа-, бета-излучающих радионуклидов в жидких и твердых пробах с использованием радиометра альфа-, бета-излучения спектрометрического «Quantulus 1220» во ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева». (свидетельство об аттестации № 45014.15225/RA.RU.311243, аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ») (МВИ ФБУН НИИРГ). Содержание трития в пробе воды определяли с использованием радиохимической очистки от сопутствующих радионуклидов с помощью двойной дистилляции. После дистилляции аликвоту пробы счетного образца объемом 10 мл смешивали в специализированной измерительной вials (из полиэтилена высокого давления объемом 20 мл) с 10 мл сцинтилляционного коктейля Optifase HiSafe III производителя PerkinElmer™ (Нидерланды). Приготовленные пробы тщательно перемешивались, выдерживались в холодильной измерительной камере прибора (для подавления фото- и хемолюминесценции) в течение 8–12 ч, после

чего запускали серию измерений. Перед каждой серией измерений и в конце измерений производилось измерение фонового образца и стандарта образца трития, прилегаемого к прибору с целью контроля стабильности условий измерений. Подготовка проб трития, содержащегося в воздушной влаге, осуществлялась методом конденсации на холодной поверхности или методом вымораживания на элементе Пельтье. Статистическая обработка результатов выполнена средствами MS Excel. Графические построения выполнены средствами MS Excel и Matlab 2020 по специально разработанному алгоритму.

Результаты и обсуждение

Исследовалось влияние следующих факторов, от которых предположительно могут зависеть чувствительность и точность измерений малых уровней трития:

1. Скорость счета фонового образца.
2. Тип сцинтиллятора и срок хранения.
3. Помещение для приготовления счетных образцов.
4. Повторное использование виал для подготовки счетных образцов.

Фоновые образцы

При подготовке фонового счетного образца для водных проб используют воду с наименьшей скоростью счета трития. Поиск такой воды осуществляли с момента приобретения прибора. Первоначально фоновый образец был приготовлен из дистиллята воды централизованного водоснабжения. При исследовании содержания трития в водных объектах в некоторых счетных образцах скорость счета трития была меньше используемого фонового образца, поэтому такие пробы становились фоновыми до того момента, пока не появится новый образец с еще меньшей счетностью. Помимо проб окружающей среды, исследовались пробы воды, приобретенные в одном из магазинов розничной торговли («ФрутоНяня», «Агуша» и др.), на этикетках которых указывалось, что данная вода добыта из артезианских скважин. Эффективность регистрации трития оценивалась по эталонному раствору с погрешностью удельной активности трития, равной 2%, из которой готовился промежуточный раствор. Ошибка приготовления счетного эталонного образца из промежуточного раствора оценена величиной 5% (точность мерной посуды и микропипетки).

Результаты исследований проб воды в процессе поиска фонового счетного образца представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что диапазон скоростей счета исследованных проб воды, которые предполагалось использовать в качестве фоновых, лежит в интервале от 0,6 до 1,2 имп/мин.

Спектр трития, измеренный на Quantulus 1220, при соотношении водного образца и сцинтилляционного коктейля 1:1 расположен между 40 и 270 каналами, тогда как спектр фона простирается вплоть до 1024 канала. Таким образом, фоновую скорость счета целесообразно рассчитывать также в интервале каналов 40–270, что позволяет избежать неоправданного увеличения скорости счета фона (рис. 2). Для дальнейшего снижения фоновой скорости счета выгодно выбирать максимальный канал окна регистрации трития на правом склоне спектра трития (рис. 3), что приводит к незначительному снижению эффективности регистрации, но позволяет заметно снизить фон.

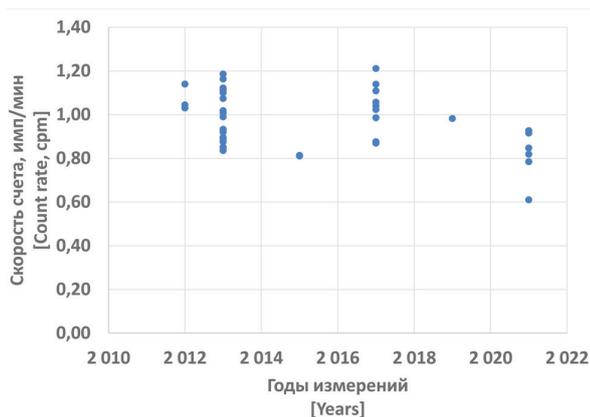


Рис. 1. Скорость счета фоновых проб воды в разные годы исследований

[Fig. 1. The count rate of background water samples in different years of the research]

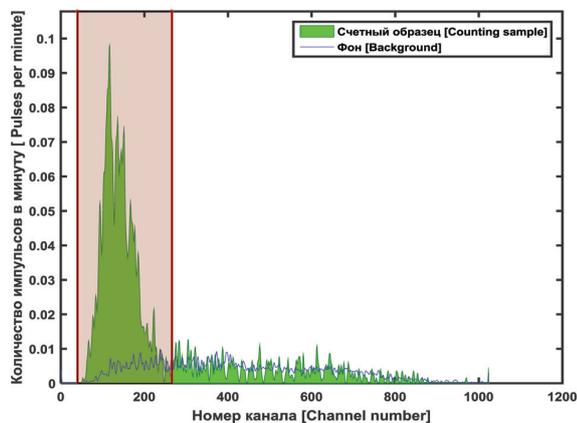


Рис. 2. Спектры счетного и фоновых образцов (границы окна регистрации выделены цветом)

[Fig. 2 Spectra of the counting and background samples (the boundaries of the registration window are highlighted in color)]

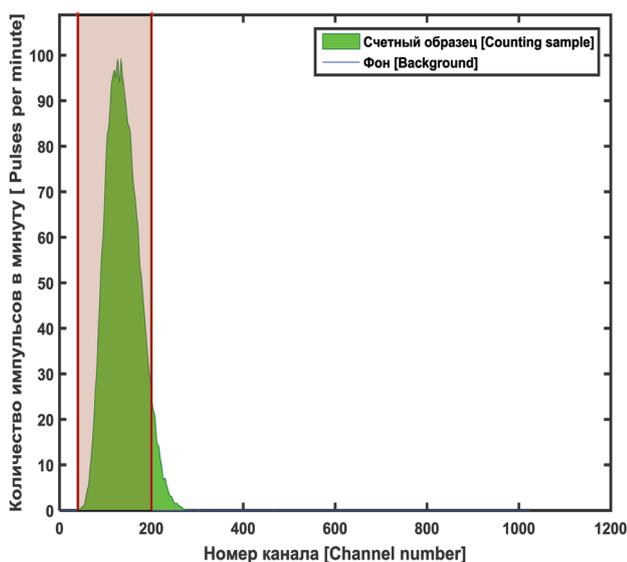


Рис. 3. Спектр счетного образца в окне регистрации от 40 до 200 канала

[Fig. 3. Spectrum of the counting sample in the registration window from 40 to 200 channels]

Важнейшей характеристикой прибора является минимально детектируемая активность (МДА), которая оценивалась по формуле, приведенной в статье [25]:

$$МДА = \frac{3,3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N_b}{t}}}{60 \cdot \varepsilon \cdot V} \cdot 1000, \frac{Бк}{л} \quad (1)$$

где N_b – скорость счета фоновго образца, имп/мин;

t – время измерений, мин;

ε – эффективность регистрации, имп.с⁻¹. Бк⁻¹;

V – объем измеряемой пробы воды в виале, мл.;

60 – коэффициент перевода минут в секунды;

1000 – коэффициенты перевода величины МДА к объему 1 л;

3,3 – коэффициент, обеспечивающий 95% доверительную вероятность оцениваемого значения МДА.

Как видно из формулы 1, величина МДА зависит от эффективности счета, скорости счета фоновго образца и времени измерений. На рисунке 4 показаны графики зависимости МДА от времени измерений для 4 значений скорости счетности фоновго образца: 0,6; 0,8; 1,0 и 1,2 имп/мин при эффективности регистрации 23%.

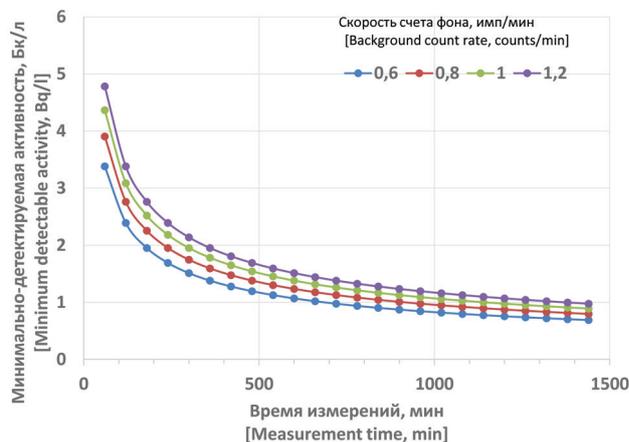


Рис. 4. Зависимость минимально-детектируемой активности трития в воде от времени измерений и скорости счета фона [Fig. 4. Dependence of the minimum detectable activity of tritium in water on the measurement time and background count rate]

Из рисунка 4 видно, что обеспечить измерения трития на уровне 1 Бк/л становится возможным только при наличии фоновго образца со скоростью счета менее 0,6 имп/мин и при времени измерений около 12 ч. Увеличение скорости счета фоновго образца на 0,1 имп/мин приводит к занижению удельной активности трития в счетном образце примерно на 0,5 Бк/л.

В таблице 1 приведены результаты расчета МДА для времени измерений 360 и 720 мин для 3 вариантов окон регистрации счетного образца и фона. Из таблицы 1 видно, что при уменьшении верхнего канала регистрации с 270 до 200 скорость счета фона уменьшается почти в 2 раза, тогда как эффективность регистрации снижается на 1,4%, что позволяет уменьшить МДА до уровня 1,04 Бк/л при времени измерений 720 мин.

Тип сцинтиллятора и сроки хранения

Сцинтилляционный коктейль относится к расходным периодически покупаемым материалам, поэтому счетные свойства могут зависеть от типа сцинтиллятора, доступ-

Зависимость МДА трития в воде от ширины канала регистрации

[Table 1]

Dependence of MDA of tritium in water from the registration channel width]

Каналы регистрации [Registration channels]	Скорость счета фона, имп/мин [Background count rate, counts/min]	Эффективность регистрации, % [Registration efficiency, %]	МДА, Бк/л [MDA, Bq/l]	
			Время измерений 360 мин [Measurement time 360 min]	Время измерений 720 мин [Measurement time 720 min]
40–270	0,95	23,9	1,9	1,35
40–240	0,78	23,8	1,73	1,22
40–200	0,54	22,5	1,46	1,04

ного для приобретения, сроков хранения, однородности его свойств в поставляемых партиях.

Сравнение свойств различных типов сцинтиллятора выполнено для рекомендуемого МВИ ФБУН НИИРГ в качестве сцинтилляционного коктейля марки Optiphase HiSafe III (страна-производитель – Нидерланды) и импортзамещающей жидкости сцинтилляционной «ЖС-8» (страна-производитель – Российская Федерация), который был закуплен в период отсутствия поставок «Optiphase HiSafe III». В связи с тем, что жидкость сцинтилляционная «ЖС-8» обладает ограниченной растворимостью в воде, сравнительное исследование выполнено для различных пропорций смешивания эталонного водного раствора и сцинтилляционной жидкости. Зависимость эффективности регистрации от относительного объема эталонного раствора в общем объеме счетного образца для 2 типов сцинтиллятора показана на рисунке 5.

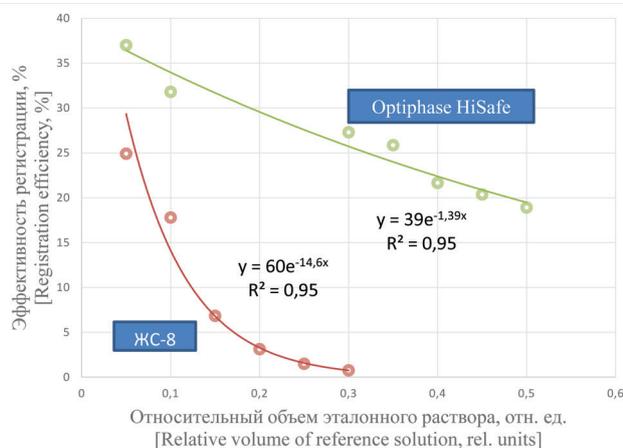


Рис. 5 Эффективность регистрации трития в воде в зависимости от относительного объема эталонного раствора в общем объеме счетного образца

[Fig. 5. Detection efficiency of tritium in water depending on the relative volume of the reference solution in the total volume of the counting sample]

Из рисунка 5 видно, что свойства исследуемых сцинтилляторов существенно различаются, как по эффективности, так и по темпу ее снижения при увеличении объемной доли эталонного раствора в общем объеме счетного образца.

Исследование показало, что МДА при использовании жидкости сцинтилляционной «ЖС-8» не позволяет

измерять пробы с объемной активностью трития менее 5 Бк/л.

Сравнение эффективности регистрации выполнено также для жидкого сцинтиллятора «Optiphase HiSafe III» из разных поставок и различных сроков хранения. Результаты сопоставления приведены в таблице 2.

Из сопоставления результатов, приведенных в таблице 2, следует, что использование каждой новой партии приобретенного жидкого сцинтиллятора требует новой градуировки прибора, а при отсутствии свежих поставок «Optiphase HiSafe III» коктейли с вышедшим сроком годности являются вполне пригодными для использования, но с потерей эффективности на 5–10%.

Место приготовления счетных образцов

При подготовке счетных образцов трития с различными уровнями активности происходят частичное испарение дистиллята и поступление паров в воздух помещения. Дополнительное поступление трития в воздушную среду здания, где ведутся работы, возможен из комнат для хранения проб, поэтому представляет интерес выяснить уровни концентрации трития во влаге воздуха в комнатах, где ведется пробоподготовка, и сравнить их с уровнями на удалении от города и тем самым оценить интенсивность возможного влияния атмосферного трития в помещениях на поступление трития из воздуха в счетные образцы во время пробоподготовки. Для предварительной оценки возможного влияния трития, содержащегося в воздухе помещений, на изменение активности счетного образца были отобраны пробы воздушной влаги в комнате, где ведется пробоподготовка малоактивных проб, в комнате, где готовятся счетные образцы проб повышенной активности, а также пробы атмосферной влаги из сельской местности на расстоянии 50 км от города. Сравнение выполнено с использованием 2 методов отбора проб влаги: методом конденсации на холодной поверхности и методом вымораживания на элементе Пельтье. Первым методом сравнивались уровни скорости счета в пробах, отобранных в помещениях, где ведутся работы. Второй метод позволил сравнить уровни скорости счета в пробах, отобранных в помещении, где ведутся работы, с пробами повышенной активности и в доме, расположенном в сельской местности на удалении 50 км от города. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что скорость счета пробы, отобранной в помещении, где ведутся работы с пробами повышенной активности, примерно в 5 раз выше, чем в пробе из комнаты для пробоподготовки малоактивных проб,

Таблица 2

Сравнение эффективности регистрации для различных сроков использования жидкого сцинтиллятора «Optiphase HiSafe III»

[Table 2]

Comparison of registration efficiency for different periods of use of the liquid scintillator «Optiphase HiSafe III»

Вариант сцинтилляционного коктейля [Variant of the scintillation cocktail]	Эффективность регистрации, % [Registration efficiency, %]	Отклонение от первоначального значения эффективности, % [Deviation from the initial efficiency value, %]
Свежий коктейль поставки 2011 г. [Fresh cocktail delivery 2011]	22,8	0
Свежий коктейль поставки 2021 г. [Fresh Cocktail Delivery 2021]	20,8	-8,8
Коктейль поставки 2011 г. (срок годности для применения вышел) [Delivery cocktail 2011 (expiration date for use expired)]	19,8	-13,2
Коктейль поставки 2011 г. (срок годности для применения вышел) [Delivery cocktail 2011 (expiration date for use expired)]	21,7	-4,8

Таблица 3

Сравнение скорости счёта трития в пробах атмосферной влаги в различных помещениях выполнения работ в пределах города и за его пределами

[Table 3]

Comparison of the tritium count rate in atmospheric moisture samples in various work areas within the city and outside it

Место отбора пробы [Sampling location]	Метод отбора пробы [Sampling method]	Объем пробы, мл [Sample volume, ml]	Скорость счёта, имп/мин [Counting rate, counts/min]	Ошибка, % [Error, %]
Город (комната для подготовки низкоактивных проб) – 3 этаж [City (room for sample preparation of low-level samples) – 3rd floor]	Конденсация [Condensation]	10	17,36	1,30
Город (комната для подготовки высокоактивных проб) – 2 этаж [City (room for sample preparation of highly active samples) – 2nd floor]	Конденсация [Condensation]	10	86,38	2,80
Город (комната для подготовки высокоактивных проб) [City (to Sample preparation room for highly active samples)]	Вымораживание на элементе Пельтье [Freezing on the Peltier element]	2	24,43	5,50
Сельская местность (дом) в 50 км от города [Rural area 50 km from the city]	Вымораживание на элементе Пельтье [Freezing on the Peltier element]	2	1,14	7,90

а скорость счёта пробы, отобранной в сельской местности, в 21 раз меньше скорости счёта пробы, отобранной в комнате для работы с высокоактивными пробами. Таким образом, результаты предварительного исследования показывают, что в процессе пробоподготовки не исключается поступление в счетный образец трития, содержащегося во влаге воздуха.

Повторное использование измерительных виал

Измерительные виалы по прошествии 3 лет хранения низкоактивных счетных образцов могут использоваться повторно, однако длительное хранение счетного образца может влиять на оптическую прозрачность стенок виалы и на эффективность регистрации. Для исследования возможного влияния помутнения стенок виалы на эффективность регистрации были проведены сравнительные измерения счетных образцов эталонного раствора в бывших в употреблении (б/у) виалах (3 шт) и в новых виалах

(3 шт). Сопоставление результатов проводилось по скорости счёта эталонного раствора. Результаты измерений представлены в таблице 4

Сравнение средних значений скорости счёта в новых виалах и виалах, бывших в употреблении, показывает, что в новых виалах скорость счёта выше. Достоверность различий средних значений по критерию Стьюдента показывает, что различия статистически значимы, то есть можно утверждать, что эффективность регистрации в новых виалах примерно на 1,5% выше.

Заключение

Планируемый сброс радиоактивной воды из резервуаров японской АЭС «Фукусима-1», увеличение мощностей атомных станций, наращивание исследований по реализации термоядерного синтеза, потенциальная опасность выноса трития в водоносные горизонты из мест размещения особых радиоактивных отходов, обра-

Сравнение средних значений скорости счета в новых виалах и виалах, бывших в употреблении

Comparison of average count rates for new and used vials

Номер виалы [Vial number]	Виалы, бывшие в употреблении [Used vials]				Новые виалы [New vials]	
	1	2	3	4	5	6
Скорость счета, имп/мин [Counting rate, counts/min]	12 561	12 595	12 446	12 651	12 701	12 806
Среднее [Average]		12 534			12 720	
Стандартная ошибка [Standard error]		45			46	

зававшихся при проведении мирных ядерных взрывов, делают актуальной задачу длительного контроля за содержанием трития в окружающей среде на уровне фоновых значений.

При планировании длительных динамических наблюдений за изменениями малых уровней трития в водных объектах необходимо заранее предусмотреть ряд факторов, от которых зависит точность оценок.

Одним из наиболее значимых факторов является наличие фонового образца со скоростью счета не более 0,6 имп/мин, который обеспечивает возможность измерения удельной активности трития – 1 Бк/л. Оптимальные условия регистрации малых уровней трития могут быть достигнуты также путем выбора каналов регистрации.

Стабильность и воспроизводимость результатов могут контролироваться с помощью эталонного раствора, который должен использоваться на протяжении всего периода динамического наблюдения.

Градуировка прибора с помощью эталонного раствора должна предусматриваться также каждый раз при смене сцинтилляционного коктейля, поскольку различия эффективности при использовании однотипных сцинтилляторов с разным сроком хранения могут достигать 10%.

Для подготовки счетных образцов трития следует выбирать помещения с минимальными уровнями трития во влаге воздуха и на существенном удалении от помещений, где проводятся работы с повышенными уровнями активности трития.

При использовании бывших в употреблении виал следует иметь в виду, что эффективность регистрации трития может снизиться, поэтому рекомендуется провести градуировочные измерения эталонных растворов.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Репин В.С. – разработал концепцию исследования, руководил выполнением исследований, осуществил систематизацию первичных материалов исследования и анализ полученных данных, написал текст статьи, оформил ее окончательный вариант для публикации в журнале.

Варфоломеева К.В. – выполнила редактирование промежуточного варианта текста статьи, оформила текст статьи для представления в редакцию журнала.

Зеленцова С.А. – выполнила редактирование промежуточного варианта текста статьи.

Седнев К.А. – выполнил анализ литературных данных, провел градуировку спектрометра, участвовал в создании библиотеки градуировочных спектров и выполнил верификационные измерения.

Архангельская Г.В. – выполнила редактирование промежуточного варианта текста статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора на 2021–2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России» по теме: «Совершенствование и развитие методов мониторинга объектов окружающей среды в районах проведения мирных ядерных взрывов. Радиационно-гигиеническая характеристика источников питьевого водоснабжения».

Литература

1. Зубачева А.А., Каткова М.Н., Тарасенко А.О., и др. Уровни содержания трития в поверхностной и питьевой воде города Обнинска и его окрестностей. Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии: сборник докладов международной молодежной конференции, Обнинск, 03–04 октября 2019 года. Обнинск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2019. С. 140–143.
2. Макаров В.Н. Тритий в снежном покрове мерзлотных ландшафтов. Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы Международной научной конференции, посвящённой 110-летию со дня рождения академика Константина Игнатьевича Лукашёва (1907–1987), Минск, 23–25 мая 2017 года. Том Часть 2. Минск: Право и экономика, 2017. С. 96–98.
3. Мажейка Й.В., Пятрошюс Р.И., Скуратович Ж.Л. и др. Тритий в окружающей среде Игналинской АЭС за период ее эксплуатации // Региональная экология. 2018. № 1. С. 20–30. DOI:10.30694/1026-5600-2018-1-20-30.
4. Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавин А.В. и др. Радиационный мониторинг питьевой воды в районе Белоярской АЭС // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 86–101. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-86-101.

5. Янов А.Ю., Востротин В.В., Финашов Л.В. Тритий в окружающей среде Уральского региона: обзор современного состояния и анализ перспектив изучения с позиций радиологической защиты // Человек. Спорт. Медицина. 2016. Т. 16, № 2. С. 85-99. <https://doi.org/10.14529/hsm160209>.
6. Ульянов В.Ю., Елохин А.П. Мониторинг трития как возможного индикатора утечек из спецтрубопроводов и других водонесущих коммуникаций на площадке АЭС «Бушер-1» // Глобальная ядерная безопасность. 2016. Т. 21, № 4. С. 7-15.
7. Ливанцова С.Ю., Снакин В.В. Техногенный тритий в окружающей среде // Жизнь Земли. 2014. Т. 35-36. С. 261-269.
8. Eyrolle F., Ducros L., Le Dizès S., et al. An updated review on tritium in the environment // Journal of Environmental Radioactivity. 2018. Vol. 181. P. 128-137. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.11.001.
9. Бондарева Л.Г. Исследование содержания трития в некоторых компонентах экосистемы р. Енисей на участке среднего течения // Радиохимия. 2015. Т. 57, № 5. С. 475-480.
10. Голубев А.В. Поведение трития в окружающей среде // Вестник Мининского университета. 2015. № 2. С. 1-1.
11. Akata N., Tanaka M., Iwata C., et al. Isotope composition and chemical species of monthly precipitation collected at the site of a fusion test facility in Japan // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16. No. 20. DOI: 10.3390/ijerph16203883.
12. Tanaka M., Iwata C., Nakada M., et al. Levels of atmospheric tritium in the site of fusion test facility // Radiation Protection Dosimetry. 2022. Vol. 198, №. 13-15. P. 1084-1089 DOI: 10.1093/rpd/ncac059/
13. Matsumoto H., Shimada Y., Nakamura A.J., et al. Health effects triggered by tritium: how do we get public understanding based on scientifically supported evidence? // Journal of Radiation Research. 2021. Vol. 62, No. 4. P. 557-563. DOI:10.1093/jrr/rrab029.
14. Kaizer J., Kontul' I., Povinec P.P. Impact of the Fukushima Accident on 3H and 14C Environmental Levels: A Review of Ten Years of Investigation // Molecules. 2023. Vol. 28, №. 6. DOI: 10.3390/molecules28062548/
15. Турченко Д.В. Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н. Исследование содержания трития в снежном покрове в местах проведения подземных ядерных взрывов // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58, № 2. С. 174-182. DOI: 10.7868/S0869803118020066/
16. Артамонова С.Ю. Тритий как индикатор радиоэкологической обстановки в районе мирного подземного ядерного взрыва» Кристалл» // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 4 (52). С. 4-13.
17. Рамзаев В.П., Библин А.М., Репин В.С. и др. Загрязнение тритием поверхностных и подземных вод в месте проведения мирных подземных ядерных взрывов серии «Днепр» // Радиационная гигиена. 2022. Т.15, № 1. С. 6-26. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-6-26.
18. Polivkina Ye.N., Larionova N.V., Lukashenko S.N., et al. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site // Journal of Environmental Radioactivity. 2021. Vol. 237. P. 67-85. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106705.
19. Ramzaev V., Repin V., Medvedev A., et al. Radiological investigations at the "Taiga" nuclear explosion site: Site description and in situ measurements // Journal of environmental radioactivity. 2011. Vol. 102. P. 672-680. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2011.04.003/
20. Махонько К.П., Ким В.М., Катрич И.Ю., Волокитин А.А. Сравнительное поведение трития и ¹³⁷Cs в атмосфере // Атомная энергия. 1998. Т. 85, № 4. С. 313-318.
21. Радиационная обстановка по территории России и сопредельных государств в 2022 г. Ежегодник. НПО «Тайфун». Обнинск, 2022. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik_ro_2022.pdf (Дата обращения 28.07.2023).
22. Buesseler K.O. Opening the floodgates at Fukushima // Science. 2020. Vol. 369, №. 6504. P. 621-622. DOI: 10.1126/science.abc1507.
23. Радиационная обстановка по территории России и сопредельных государств в 2009 г. Ежегодник. НПО «Тайфун». Обнинск, 2009. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik_ro_2009.pdf (Дата обращения 28.07.2023).
24. Varlam C., Stefanescu I., Dului O.G., et al. Applying direct liquid scintillation counting to low level tritium measurement // Applied Radiation and Isotopes. 2009. Vol. 67, No. 5. P. 812-816. DOI: 10.1016/j.apradiso.2009.01.023.
25. Arun B., Vijayalakshmia I., Sivasubramaniana K., Jose M.T. Optimization of liquid scintillation counter for tritium estimation in water samples // Radiochemistry. 2019. Vol. 61, No. 1. P. 61-65. DOI: 10.1134/S1066362219010090.

Поступила: 24.07.2023 г.

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии 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.Repin@mail.ru

Варфоломеева Ксения Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории экологии 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

Зеленцова Светлана Александровна – младший научный сотрудник лаборатории экологии 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

Седнев Константин Андреевич – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории экологии 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

Архангельская Генриэтта Владимировна – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии 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: Репин В.С., Варфоломеева К.В., Зеленцова С.А., Седнев К.А., Архангельская Г.В. Методические особенности наблюдения за многолетней динамикой малых уровней трития в окружающей среде // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 91-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-91-100

Methodological features of monitoring the long-term dynamics of low levels of tritium in the environment

Viktor S. Repin, Kseniya V. Varfolomeeva, Svetlana A. Zelentsova, Konstantin A. Sednev, Genrietta V. Arkhangelskaya

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 considers the methodological features of long-term observations of the dynamics of changes in low levels of tritium in water bodies of the environment located in places of potential contamination by tritium. The experience of measurements of tritium on the low-background liquid scintillation alpha-, beta-radiometer "Quantulus 1220-003" has shown, that the accuracy of estimating the absolute values of the specific activity of tritium in the samples under study at its low levels is significantly related to the counting rate of the background sample. When planning long-term dynamic observations of changes in low levels of tritium in water bodies, it is necessary to foresee a number of factors that affect the accuracy of the estimates. One of the most significant factors is the presence of a background sample with a count rate of not more than 0.6 imp/min, which makes it possible to measure the activity concentration of tritium at a level of 1 Bq/l for 12 hours. The stability and reproducibility of the results can be monitored using a reference solution, which must be used throughout the entire period of dynamic observation. Calibration of the device using the reference solution should be provided each time the scintillation cocktail is changed, since there may be differences in efficiency up to 10% when using the same type of scintillators with different shelf life. For the preparation of counting samples, rooms with minimal levels of tritium in air moisture and at a significant distance from rooms where work with elevated levels of tritium activity is carried out should be chosen. When reusing vials, it should be borne in mind that the efficiency of tritium detection may decrease, therefore, when using such vials, calibration measurements of standard solutions should also be carried out.

Key words: tritium, environment, low levels, liquid spectrometry, monitoring, long-term dynamic observations, background sample, reference sample, measurement accuracy.

Information about the personal contribution of the authors to the article

Repin V.S. – developed the concept of the study, supervised the implementation of the studies, systematized the primary materials of the study and analyzed the data obtained, wrote the text of the article, designed its final version for publication in the journal.

Varfolomeeva K.V. – edited the intermediate version of the text of the article, designed the text of the article for submission to the editors of the journal.

Zelentsova S.A. – edited the intermediate version of the text of the article.

Sednev K.A. – performed the analysis of literature data, calibrated the spectrometer, participated in the creation of a library of calibration spectra and performed verification measurements.

Arkhangelskaya G.V. – edited the intermediate version of the text of the article.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Information about the source of funding

The work was carried out within the framework of the sectoral program of Rospotrebnadzor for 2021–2025. "Scientific substantiation of the national system for ensuring sanitary and epidemiological well-being, managing health risks and improving the quality of life of the population of Russia" on the topic: "Improving and developing methods for monitoring environmental objects in areas where peaceful nuclear explosions are carried out. Radiation-hygienic characteristics of sources of drinking water supply.

Victor S. Repin

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.Repin@mail.ru

References

- Zubacheva AA, Katkova MN, Tarasenko AYu, Shesterikova EM. Levels of tritium content in the top and drinking water of the city of Obninsk and its environs. Modern problems of radiobiology, radioecology and agroecology; 2019. P. 140-143. (In Russian).
- Makarov VN. Tritium in the snow cover of permafrost landscapes. Modern problems of geochemistry, geology and prospecting for mineral deposits.; 2017. P. 96-98. (In Russian).
- Mazeika JV, Petrošius RI, Skuratovich ZhL, Efanova OV. Tritium in the environment of the Ignalina NPP for the period of its operation. *Regionalnaya ekologiya = Regional ecology*. 2018;1: 20-30. (In Russian).
- Panov AV, Trapeznikov AV, Korzhavin AV, Geshel IV, Korovin SV, Edomskaya MA. et al. Radiation monitoring of drinking water in the area of the Belayarsk NPP. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 86–101. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-86-101. (In Russian).
- Yanov AYu, Vostrotnin VV, Finashov LV. Tritium in the environment of the Ural region: a review of the current state and analysis of the prospects for studying from the standpoint of radiological protection. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine*. 2016;16(2): 85-99. (In Russian).
- Ulyanov VY, Elokhin AP. Monitoring of tritium as a possible indicator of leaks from special pipelines and other water-carrying communications at the site of the Bushehr-1 NPP. *Globalnaya yadernaya bezopasnost = Global Nuclear Safety*. 2016; 21(4): 7-15. (In Russian).
- Livantsova SY, Snakin VB. Technogenic tritium in the environment. *Zhizn Zemli = Life of the Earth*. 2014;35:261-269. (In Russian).
- Eyrolle F, Ducros L, Le Dizès S, Beaugelin-Seiller K, Charmasson S, Boyer P, et al. An updated review on tritium in the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018;181: 128–137. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.11.001.
- Bondareva LG. Study of the content of tritium in some components of the ecosystem of the Yenisei River in the area of the middle course. *Radiokhimiya = Radiochemistry*. 2015;57(5): 475-480. (In Russian).
- Golubev AB. Study of tritium in the environment. *Vestnik Mininskogo universiteta = Bulletin of Minin University*. 2015;2: 1-1. (In Russian).
- Akata N, Tanaka M, Iwata Ch, Kato A, Nakada M, Kovács T, et al. Isotope composition and chemical species of monthly precipitation collected at the site of a fusion test facility in Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(20).
- Tanaka M, Iwata C, Nakada M, Kato A, Akata N. Levels of atmospheric tritium in the site of fusion test facility. *Radiation Protection Dosimetry*. 2022;198(13-15): 1084-1089.
- Matsumoto H, Shimada Y, Nakamura AJ, Usami N, Ojima M, Kakinuma Sh, et al. Health effects triggered by tritium: how do we get public understanding based on scientific-ly supported evidence? *Journal of Radiation Research*. 2021;62(4): 557–563. DOI:10.1093/jrr/rrab029.
- Kaizer J, Kontu I, Povinec PP. Impact of the Fukushima Accident on 3H and 14C Environmental Levels: A Review of Ten Years of Investigation. *Molecules*. 2023;28(6).
- Turchenko DB, Lukashenko SN, Aidarkhanov AO, Lyakhova OA. Study of the content of tritium in the snow cover in the places of underground nuclear explosions. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2018. T. 58, No 2. P. 174-182 (In Russian).
- Tritium as an indicator of the radioecological situation in the area of a peaceful underground nuclear explosion "Kristal". *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya = Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2019; 4: 4-13. (In Russian).
- Ramzaev VP, Biblin AM, Repin VS, Khrantsov EV, Varfolomeeva KV. Tritium contamination of surface and ground waters at the "Dnepr" peaceful underground nuclear explosions site. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 6-26. (In Russian).
- Polivkina YeN, Larionova NV, Lukashenko SN, Lyakhova ON, Abisheva MT, Subbotina LF, et al. Assessment of the tritium distribution in the vegetation cover in the areas of underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021;237:67-85. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106705.
- Ramzaev V, Repin V, Medvedev A, Khrantsov E, Timofeeva M, Yakovlev V. Radiological investigations at the "Taiga" nuclear explosion site: Site description and in situ measurements. *Journal of environmental radioactivity*. 2011;102: 672-680.
- Makhonko KP, Kim VM, Katrich IYu, Volokitin AA. Comparative behavior of tritium and 137Cs in the atmosphere. *Atomnaya energiya = Atomic energy*. 1998;85(4): 313-318. (In Russian).
- Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2022. Yearbook. NPO "Typhoon". Obninsk, 2022. Available from: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik_ro_2022.pdf (Accessed 28.07.2023) (In Russian).
- Buesseler KO. Opening the floodgates at Fukushima. *Science*. 2020;369(6504): 621-622.
- Radiation situation on the territory of Russia and neighboring states in 2009. Yearbook. NPO Typhoon. Obninsk, 2009. Available from: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik_ro_2009.pdf (Accessed 28.07.2023). (In Russian).
- Varlam C, Stefanescu I, Dului OG, Faurescu I, Popescu I. Applying direct liquid scintillation counting to low level tritium measurement. *Applied Radiation and Isotopes*. 2009;67(5): 812-816.
- Arun B, Vijayalakshmia I, Sivasubramaniana K, Jose MT. Optimization of liquid scintillation counter for tritium estimation in water samples. *Radiochemistry*. 2019;61(1): 61–65.

Received: July 24, 2023

For correspondence: Viktor S. Repin – Doctor of Biological Sciences, Head of Ecology Laboratory of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Repin@mail.ru)

Kseniya V. Varfolomeeva – Junior Researcher, Laboratory of Ecology, 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

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, Saint-Petersburg, Russia

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

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 citation: Repin V.S., Varfolomeeva K.V., Zelentsova S.A., Arkhangelskaya G.V., Sednev K.A. Methodological features of monitoring the long-term dynamics of low levels of tritium in the environment. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 91-100. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-91-100

Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг.

П.С. Дружинина¹, И.К. Романович¹, А.В. Водоватов^{1,2}, Л.А. Чипига^{1,3,4}, Р.Р. Ахматдинов¹,
А.А. Братилова¹, С.А. Рыжов^{5,6,7}

- 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
- ³ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
- ⁴ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
- ⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
- ⁶ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия
- ⁷ Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

В статье представлен анализ структуры компьютерно-томографической диагностики по данным форм федерального государственного статистического наблюдения (радиационно-гигиенических паспортов за период 2011–2021 гг., формы № 3-ДОЗ за период 2011–2021 гг. и формы № 30 за период 2014–2020 гг.) с целью оценки состояния КТ-диагностики в Российской Федерации для выявления основных трендов развития данного вида лучевой диагностики и доз облучения пациентов. Результаты анализа показали, что за период с 2011 по 2021 г. наблюдалось значительное развитие КТ-диагностики в Российской Федерации, а именно: увеличение общего числа КТ-исследований в 6 раз с 4,6 млн до 27,6 млн, увеличение числа КТ-исследований на 1000 человек в 5,9 раз (с 32 КТ-исследований до 189 КТ-исследований на 1000 человек) и вклада КТ в коллективную дозу от медицинского диагностического облучения в 3 раза (с 26% до 77%). Число КТ-исследований на 1 КТ-аппарат в год с 2014 по 2019 г. увеличилось на 2 тыс. (52%), а в 2020 г. еще на 1,85 тыс. (32% по сравнению с 2019 г.) и достигло 7,7 тыс. Рост числа КТ-исследований был обусловлен главным образом более интенсивным использованием оборудования для КТ. Основной вклад в структуру и коллективную дозу компьютерной томографии на 2021 г. вносят исследования органов грудной клетки (58%/65%), органов брюшной полости (8%/14%), таза и бедра (3%/4%), черепа и челюстно-лицевой области (18%/7%). За период с 2011 по 2021 г. для КТ-исследований органов грудной клетки средняя эффективная доза находилась в диапазоне от 4,2 до 5,9 мЗв за исследование, для органов брюшной полости — от 6,5 до 9,2 мЗв, для таза и бедра — 5 до 6,7 мЗв, для черепа и черепно-лицевой области — 1,5 до 2,4 мЗв. Несмотря на пандемию COVID-19 и ассоциированный с ней рост КТ-диагностики в Российской Федерации, частота проведения КТ-исследований и вклад компьютерной томографии в коллективную дозу остаются более низкими по сравнению с зарубежными странами (до 3,5 раза по числу КТ-исследований на 1000 человек и до 1,6 раза по вкладу КТ в коллективную дозу).

Ключевые слова: компьютерная томография, эффективная доза, Единая система контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан, форма № 3-ДОЗ, радиационно-гигиеническая паспортизация.

Введение

На сегодняшний день компьютерная томография (КТ) является одним из наиболее точных и эффективных методов диагностики [1, 2]. Данный метод лучевой диагнос-

тики позволяет послойно получить детальные изображения внутренних органов и тканей в высоком разрешении. Высокая информативность КТ-изображений позволяет выявить множество заболеваний, таких как опухоли, ки-

Дружинина Полина Сергеевна

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

сты, абсцессы, воспалительные процессы, кровоизлияния и другие патологии. КТ также может использоваться для контроля эффективности лечения и оценки состояния органов после операций. Одним из главных преимуществ КТ является его высокая точность и способность детектировать даже малейшие изменения в тканях и органах. Кроме того, КТ является быстрым и неинвазивным методом диагностики, который не требует сложной предварительной подготовки пациента [1, 2].

В течение последних 10 лет КТ активно развивается как в зарубежных странах, так и в Российской Федерации (РФ). В некоторых зарубежных странах вклад в коллективную дозу населения медицинского облучения за счет КТ уже в 2005–2008 гг. превысил вклад природного облучения [3, 4].

Особое распространение КТ получила в период пандемии COVID-19, так как стала одним из основных методов ранней и первичной диагностики данного заболевания, в том числе у детей, вследствие недостаточной чувствительности лабораторных методов диагностики [5]. В результате структура коллективной дозы от медицинского облучения в Российской Федерации претерпела значительные изменения – в 2020 г. вклад КТ в коллективную дозу увеличился до 74%. Число выполненных КТ-исследований увеличилось в 1,5 раза по сравнению с 2019 г. [6].

На сегодняшний день существуют только локальные исследования по уровням облучения пациентов, которые ограничиваются, как правило, одним регионом, а чаще лишь несколькими медицинскими организациями (МО) в этом регионе [7–13]. Выборки МО или регионов не всегда являются репрезентативными, и исследования, построенные на них, не могут достоверно описать ситуацию в Российской Федерации. Однако их можно использовать для верификации данных государственной статистики.

Для оценки реального состояния КТ-диагностики в Российской Федерации и разработки оптимизационных мероприятий необходим анализ данных по структуре КТ-диагностики, аппаратному парку и уровням облучения пациентов по всем регионам страны. Это может быть реализовано только с использованием форм федерального государственного статистического наблюдения.

Цель исследования – выявление основных трендов развития КТ-диагностики в Российской Федерации и эффективных доз облучения пациентов за период с 2011 по 2021 г. по данным форм федерального государственного статистического наблюдения.

Материалы и методы

Анализ основных показателей был проведен с использованием сведений, содержащихся в основных источниках информации о структуре лучевой диагностики

и коллективных дозах облучения населения Российской Федерации: радиационно-гигиенических паспортах за период 2011–2021 гг.¹; форме федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенодиагностических исследований» за период 2011–2021 гг. и форме № 30 «Сведения о медицинской организации» за период 2014–2020 гг. В работе проанализированы данные из таблиц 5.1 радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации, таблиц 1000, 1100, 2000 и 2100 формы № 3-ДОЗ и таблиц 5113 и 5117 формы № 30. При этом использовалась методика обработки данных, представленная в предыдущих работах авторов [6].

Средние эффективные дозы (СЭД) для КТ-исследований различных анатомических областей определяли для каждого из субъектов Российской Федерации за каждый год для периода 2011–2021 гг. как отношение коллективной дозы для данного исследования к числу выполненных исследований. При этом использовали данные только из таблиц 2000 и 2100 формы № 3-ДОЗ.

Данные о численности населения Российской Федерации за исследуемый период были получены с официального сайта Федеральной службы государственной статистики [14].

Собственные данные ФБУН НИИРГ, использованные для сравнения с данными из формы № 3-ДОЗ, включают в себя выборку типичных доз пациентов при проведении нативных и контрастных КТ-исследований, собранных сотрудниками института в отдельных регионах РФ (г. Санкт-Петербург, г. Москва, Ленинградская область, Белгородская область, Ростовская область, г. Тюмень) в период с 2009 по 2022 г. Выборка собственных данных ФБУН НИИРГ сравнивалась с общими выборками по Российской Федерации по годам с 2011 по 2021 г. В общие выборки по Российской Федерации были включены СЭД из регионов за каждый исследуемый год, полученные по данным формы № 3-ДОЗ.

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Excel и Statistica 12. Проверка распределений данных на нормальность проводилась с использованием теста Колмогорова – Смирнова (с поправкой на значимость Лиллефорса). Взаимосвязь между различными показателями оценивали с использованием метода ранговой корреляции Спирмена. Сравнение выборок данных проводилось с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием критериев Краскелла – Уоллиса и медианного теста. При подтверждении различий между выборками в дальнейшем проводилось попарное сравнение выборок с использованием теста Манна – Уитни. Для всех тестов различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

¹ Приказ Минздрава РФ № 239, Госатомнадзора РФ № 66, Госкомэкологии РФ № 288 от 21.06.1999 г. «Об утверждении методических указаний» (вместе с «Порядком ведения радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий (методические указания)») [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation N 239, Gosatomnadzor of the Russian Federation N 66, Goscomecology of the Russian Federation N 288 dated 06/21/1999 "On approval of guidelines" (with the "Procedure for maintaining radiation-hygienic passports of organizations and territories (guidelines)")] (In Russ.)]

Результаты и обсуждение

Динамика изменения частоты КТ-исследований на 1000 человек населения, общего числа КТ-исследований, коллективной дозы от КТ, а также вклада КТ в коллективную дозу в Российской Федерации в 2011–2021 гг. по данным радиационно-гигиенических паспортов представлена в таблице 1.

Общее число КТ-исследований за последние 10 лет выросло в 6 раз с 4,6 млн до 27,6 млн. При этом аналогичный рост наблюдается у показателя частоты проведения КТ-исследований на 1000 человек населения, значение которого выросло за период с 2011 по 2021 г. в 5,9 раза с 32 КТ-исследований на 1000 человек до 189 КТ-исследований на 1000 человек. Одинаковый рост обоих показателей может свидетельствовать о том, что ежегодное увеличение числа КТ-исследований происходит, прежде всего, из-за увеличения частоты их проведения и не связано с изменением численности населения Российской Федерации.

Значительное увеличение числа КТ-исследований наблюдалось в 2019–2021 гг. в период пандемии COVID-19, в течение которой КТ активно применялась в качестве метода ранней и первичной диагностики. За 2019–2021 гг. число КТ-исследований увеличилось в 2 раза с 13,5 млн до 27,6 млн исследований.

Несмотря на постоянное увеличение числа КТ-исследований в течение последних 10 лет, КТ вносит сравнительно небольшой вклад в общее число рентгеновских исследований. С 2011 по 2019 г. вклад КТ-исследований в общее число рентгеновских исследований постепенно увеличивался на 0,5% в год (с 1,9% до 4,5% соответственно). В 2020 и 2021 гг. этот вклад увеличился примерно в 2 раза по сравнению с 2019 г. и составил 8,1% и 9,8% соответственно. Однако при небольшом вкладе в общее число рентгеновских процедур КТ вносит основной вклад в коллективную дозу от медицинского диагностического облучения.

Из таблицы 1 видно, что с 2011 по 2021 г. наблюдался постоянный рост вклада КТ в коллективную дозу от медицинского диагностического облучения, который за 10 лет вырос в 3 раза – с 26% до 77%. В период с 2011 по 2019 г. происходило постепенное увеличение вклада КТ в коллективную дозу – с 26% до 56% (вклад увеличился в 2 раза за 9 лет). Увеличение коллективной дозы от КТ с 2014 г. связано с эффектом поддержки здравоохранения в результате государственных программ модернизации, увеличением числа и развитием аппаратного парка, развитием доступности КТ и, как следствие, увеличением числа КТ-исследований, в том числе высокодозовых². Резкое увеличение вклада КТ в коллективную дозу

Таблица 1

Динамика изменения частоты КТ-исследований на 1000 человек населения, общего числа КТ-исследований, коллективной дозы от КТ, а также вклада КТ в коллективную дозу в Российской Федерации в 2011–2021 гг. по данным радиационно-гигиенических паспортов

[Table 1

The dynamics of changes in the frequency of CT examinations per 1000 population, the total number of CT examinations, the collective dose from CT and the contribution of CT to the collective dose in the Russian Federation in 2011–2021 according to radiation-hygienic passports]

Год [Year]	КД* от КТ, тыс. чел.-Зв [The collective dose from CT, pers. -Sv]	Вклад КТ в КД, % [The contribution of CT to the collective dose]	Число КТ-исследований на 1000 чел. [Number of CT examinations per 1000 population]	Число процедур КТ, млн [The total number of CT examinations]	Вклад КТ в структуру лучевой диагностики, % [Contribution of CT to the number of X-ray examinations]
2011	84,5	26	32,3	4,6	1,9
2012	80,9	30	33,6	4,8	2,0
2013	70,4	34	40,1	5,7	2,2
2014	69,4	40	49,5	7,1	2,7
2015	71,8	45	55,8	8,2	3,0
2016	75,4	48	63,2	9,3	3,3
2017	80,3	50	70,8	10,4	3,7
2018	84,4	53	81,4	12,0	4,1
2019	88,1	56	91,8	13,5	4,5
2020	117,3	73	146,8	21,5	8,1
2021	141,8	77	188,9	27,6	9,8

* КД – коллективная доза.

² Государственная программа Российской Федерации «Развитие здравоохранения». Онлайн-ресурс. Доступно по адресу: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/programms/health/info> Дата последнего обращения 13.07.2023 г. [Government Program of the Russian Federation "Health Development" Online resource. Available at: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/programms/health/info> Last accessed 13.07.2023 (In Russ.)]

в 2020–2021 гг. связано с пандемией COVID-19 и ассоциированными с ней изменениями в аппаратном парке и структуре лучевой диагностики.

За период с 2011 по 2021 г. были определены темпы прироста для числа КТ-исследований и коллективной дозы для всех регионов Российской Федерации и страны в целом. Результаты анализа, выполненного методом линейной регрессии, показали, что между темпами прироста числа КТ-исследований и коллективной дозы наблюдается сильная положительная связь. Для выборок регионов Российской Федерации коэффициенты корреляции Спирмена находились в диапазоне от 0,55 в 2014 г. до 0,87 в 2019 г.; в среднем – 0,8, $p < 0,05$. Для Российской Федерации в целом коэффициент корреляции составил 0,98, $p < 0,05$. Это свидетельствует о том, что в Российской Федерации темпы прироста коллективной дозы при КТ идентичны темпам прироста числа КТ-исследований, и позволяет сделать вывод о повсеместном использовании табличных значений эффективных доз в рамках контроля и учета доз пациентов для заполнения формы № 3-ДОЗ.

Оценка трендов развития КТ в Российской Федерации невозможна без сравнения с зарубежной практикой. В период 2009–2018 гг. частота проведения КТ-исследований на 1000 человек в Российской Федерации была 58 КТ-исследований на 1000 человек [15] по сравнению с 208 КТ на 1000 человек в США [16] или 117 КТ на 1000 человек в Европе [15, 17].

В Российской Федерации по состоянию на 2015 г. вклад КТ в коллективную дозу составлял около 45%, в то время как во многих странах с развитой системой здравоохранения этот показатель превышал 50%, а в таких странах как Швейцария, Франция и Италия, – 70%. В настоящее время в коллективную дозу от КТ-диагностики в Российской Федерации превышает 75% (см. табл. 1).

Далее был проведен анализ структуры и коллективной дозы КТ по регионам страны, так как региональная практика может сильно отличаться между собой и зависеть от многих факторов. По результатам обработки формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ были выделены регионы с наибольшим и наименьшим количеством проведенных КТ-процедур за 2011–2021 гг.

За период 2011–2021 гг. лидирующее место по количеству проведенных КТ-исследований в основном занимала Москва. Основными регионами с наибольшим количеством проводимых КТ-исследований являлись – г. Москва, г. Санкт-Петербург, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Свердловская и Московская области.

Регионами с наименьшим количеством проводимых КТ-исследований являлись Республика Ингушетия, Ненецкий автономный округ, Республика Калмыкия, Республика Алтай, Чукотский автономный округ, Еврейская автономная область.

Совсем иная картина наблюдается при анализе частоты выполнения КТ-исследований. За период 2011–2021 гг., по данным формы № 3-ДОЗ, в топ регионов с максимальным числом КТ-исследований на 1000 человек входили следующие регионы: Сахалинская область, Магаданская область, Тюменская область, Томская область, г. Москва, Пензенская область, Республика Мордовия и Республика

Башкортостан. Например, топ-5 регионов по частоте проведения КТ-исследований в 2021 г. включал в себя Пензенскую область (330 КТ на 1000 чел.), Магаданскую область (327 КТ на 1000 чел.), Тюменскую область (325 КТ на 1000 чел.), Республику Мордовию (295 КТ на 1000 чел.), г. Москву (290 КТ на 1000 чел.). Данные показатели более чем в 1,5–2 раза превышают среднюю частоту выполнения КТ-исследований в Российской Федерации за соответствующий год (см. табл. 1).

Минимальные значения по числу КТ-исследований на 1000 человек наблюдались в регионах Северного Кавказа, Республике Крым и Еврейской автономной области. Например, в число таких регионов вошли в 2021 г. – Еврейская автономная область (80 КТ на 1000 чел.), Республика Дагестан (76 КТ на 1000 чел.), Республика Ингушетия (59 КТ на 1000 чел.), Оренбургская область (30 КТ на 1000 чел.), Чеченская Республика (27 КТ на 1000 чел.).

Набор регионов, входящих в рейтинги регионов как с наибольшими, так и с наименьшими значениями выбранных показателей, примерно постоянен. Регионы с наибольшим количеством проводимых КТ-исследований – экономически развитые регионы, с большой численностью единиц аппаратного парка, с большим количеством медицинских организаций, предоставляющих возможность проведения КТ-диагностики. Кроме того, число КТ-исследований в этих регионах может поддерживаться на высоких уровнях за счет пациентов из других регионов, в которых КТ-диагностика недоступна или не распространена. Регионы с наименьшим количеством проводимых КТ-исследований – отдаленные регионы, с невысокой численностью населения и ограниченными единицами аппаратного парка, для которых низкое число проводимых КТ-исследований ожидаемо. При этом как в рейтинг 5 регионов с наибольшими значениями, так и в рейтинг 5 регионов с наименьшими значениями по числу исследований входили регионы, которые попадали в рейтинг лишь в отдельные годы или разово (например, Воронежская область в 2013 г.). Наиболее вероятным объяснением таких разовых аномалий являются процедурные ошибки заполнения формы № 3-ДОЗ.

Динамика изменения аппаратного парка за период 2014–2020 гг. с Российской Федерации по данным формы № 30 представлена в таблице 2.

С 2014 по 2020 г. общее количество компьютерных томографов увеличилось на 39% за счет увеличения количества спиральных многосрезовых компьютерных томографов с более чем 64 срезами. Анализ формы № 30 выявил значительный рост числа томографов со сроком службы более 10 лет, который в 2020 г. достиг 20% от общего количества компьютерных томографов в России. Тенденция к увеличению количества КТ-сканеров в Российской Федерации связана как с появлением новых высокоинформативных технологий, позволяющих повысить точность и сократить время диагностики, так и с установкой в медицинских организациях в период пандемии (2019–2020 гг.) оборудования для диагностики пациентов с коронавирусной инфекцией. Следует отметить, что значимый рост компьютерных томографов наблюдался только в 2020–2021 гг. в связи с пандемией COVID-19 [6]. Увеличение числа и частоты проведения КТ-исследований в предыдущие временные периоды (см. табл. 1) обусловлены в первую оче-

Обзоры

Таблица 2
Динамика изменения аппаратного парка за 2014–2020 гг. в Российской Федерации по данным формы № 30
[Table 2
The dynamics of changes in the hardware stock in 2014–2020 in the Russian Federation according to Form No. 30]

Тип КТ [CT equipment]	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Компьютерные томографы ВСЕГО: [Computed tomographs TOTAL:]	1 612	1 714	1 717	1 767	1 819	1 874	2 246
Из них: [among them:]							
Пошаговые [Axial]	43	34	33	33	30	16	21
Спиральные односрезовые [Spiral single slice]	81	77	59	59	49	41	33
Спиральные многосрезовые [Spiral multislice]	1 461	1 588	1 613	1 664	1 724	1 817	2 187
Из числа спиральных многосрезовых компьютерных томографов: [Among spiral multislice computed tomographs:]							
< 16 срезов [< 16 slices]	188	185	166	148	143	117	99
16 срезов [16 slices]	729	788	814	843	855	866	880
32–64 среза [32–64 slices]	339	360	359	329	184	150	247
64–128 срезов [64–128 slices]	174	199	213	281	395	484	657
< 128 срезов [< 128 slices]	48	50	56	59	139	198	303
С 2 трубками [With 2 tubes]	3	6	5	6	7	–	–
Передвижные [Mobile]	–	–	–	–	–	12	22

редь более интенсивным использованием действующего оборудования. Число КТ-исследований на 1 КТ-аппарат выросло с 2014 по 2020 г. в 2 раза с 3,8 тыс. до 7,7 тыс. КТ-исследований в год.

Структура числа КТ-исследований и их вклад в суммарную коллективную дозу от КТ в зависимости от анатомической области по данным формы № 3-ДОЗ представлена в таблице 3.

Таблица 3
Структура числа КТ-исследований и их вклада в суммарную коллективную дозу от КТ в зависимости от анатомической области

[Table 3
The structure of the number of CT examinations and their contribution to the total collective dose from CT depending on the anatomical area]

Исследование [Examination]	КТ ОГК* [Chest CT]		КТ таз и бедро [Pelvis and hips CT]		КТ ОБП* [Abdomen CT]		КТ череп и ЧЛО* [Skull and MFR CT]	
	Вклад в ЧИ**, % [Contr. to EX**, %]	Вклад в КД***, % [Contr. to CD***, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]
2021	58	65	3	4	8	14	18	7
2020	55	63	3	4	8	15	20	8
2019	23	31	5	8	15	28	36	15
2018	23	31	5	8	14	27	36	15
2017	23	31	4	7	15	27	36	16
2016	22	30	4	8	14	27	38	17
2015	21	29	5	8	15	29	38	17
2014	21	29	5	8	14	28	38	17

Исследование [Examination]	КТ ОГК* [Chest CT]		КТ таз и бедро [Pelvis and hips CT]		КТ ОБП* [Abdomen CT]		КТ череп и ЧЛО* [Skull and MFR CT]	
	Вклад в ЧИ**, % [Contr. to EX**, %]	Вклад в КД***, % [Contr. to CD***, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]	Вклад в ЧИ, % [Contr. to EX, %]	Вклад в КД, % [Contr. to CD, %]
2013	24	27	6	9	15	29	38	18
2012	21	31	6	9	16	32	35	14
2011	19	30	6	9	15	33	34	13

*ОГК – органы грудной клетки, ОБП – органы брюшной полости, ЧЛО – черепно-лицевая область [Chest CT; Abdomen CT; MFA – maxillofacial area]

** ЧИ – суммарное число КТ-исследований, выполненных за год [EX – total number of CT examinations performed per year]

*** КД – суммарная коллективная доза за счет проведения КТ-исследований [CD – total collective dose due to CT examinations]

В таблице 3 представлены наиболее распространенные КТ-исследования, которые при этом в 2011–2021 гг. вносили более 4% вклада в коллективную дозу от всех видов КТ-исследований. КТ-исследования, которые проводятся часто, но не вносят значительного вклада в коллективную дозу (например, КТ исследования зубов) в данной статье не рассматривались.

Из таблицы 3 видно, что наиболее распространенными КТ-исследованиями за период 2011–2021 гг. являлись исследования ОГК, ОБП, таза и бедра, черепа и ЧЛО. За период 2011–2019 гг. по частоте проведения первое место занимали КТ-исследования черепа и ЧЛО (13–18%), второе – КТ-исследования ОГК (19–24%), третье – КТ-исследования ОБП (14–16%), четвертое – КТ-исследования таза и бедра – (4–6%).

В период пандемии COVID-19 структура КТ-исследований изменилась, и на первое место по частоте проведения исследований вышли КТ-исследования ОГК, которые вносили в 2020 г. 55% и в 2021 г. 58% в общее число КТ-исследований, второе место занимали КТ-исследования черепа и ЧЛО (2020 г. – 20%, 2021 г. – 18%), третье – КТ-исследования ОБП (2020 г. – 8%, 2021 г. – 8%), четвертое – КТ-исследования таза и бедра (2020 г. – 3%, 2021 г. – 3%). Изменение структуры КТ-диагностики в этот период связано с увеличением числа КТ-исследований ОГК для диагностики коронавирусной инфекции и уменьшением проведения других видов КТ-исследований, назначаемых в рамках плановых обследований.

В 2011–2019 гг. наибольший вклад в коллективную дозу от КТ вносили КТ-исследования ОБП и КТ-исследования ОГК. Вклад каждого из этих видов КТ-исследований составлял в среднем 30% (ОБП – мин. 27%, макс. 33%; ОГК – мин. 27%, макс. 31%). Меньший, но также существенный вклад в коллективную дозу от КТ вносили КТ-исследования черепа и ЧЛО, который составил в среднем 16% в 2011–2019 гг. (13–18%). Наименьший вклад из рас-

смотренных в таблице 3 исследований в коллективную дозу от КТ вносят КТ-исследования таза и бедра. Вклад этих исследований в 2011–2019 гг. в среднем составил 8% (7–9%). Следует отметить, что в форме № 3-ДОЗ КТ-исследования с внутривенным контрастированием не выделены в отдельную категорию и не учитываются отдельно. Вклад некоторых видов КТ-исследований, выполняющихся с использованием внутривенного контрастирования и включающих несколько фаз сканирования в коллективную дозу, может быть занижен. Так, по данным формы № 30, вклад исследований с контрастом в общее число КТ-исследований составляет 19%; для исследований черепа и ЧЛО – 6,2%, ОГК – 16%, ОБП – 50%, таза и бедра – 37%.

В период пандемии COVID-19 в 2020–2021 гг. структура коллективной дозы при КТ также началась меняться. Вследствие резкого увеличения частоты проведения КТ-исследований ОГК в 2 раза увеличился вклад этих исследований в коллективную дозу и составил в 2020 г. – 63%, а в 2021 г. – 65%. На фоне увеличения частоты проведения КТ-исследований ОГК, частота других видов исследований начала снижаться, как и их вклад в коллективную дозу. Вклад КТ-исследований ОБП и КТ-исследований черепа и ЧЛО также снизился примерно в 2 раза (ОБП: 2020 г. – 15%, 2021 г. – 14%; череп и ЧЛО: 2020 г. – 8%, 2021 г. – 7%). Вклад КТ-исследований таза и бедра в 2020–2021 гг. был наименьшим из рассмотренных исследований и также уменьшился в 2 раза в сравнении с периодом 2011–2019 гг.: в 2020 г. – 4%, в 2021 г. – 4%.

Необходимо отметить, что форма № 3-ДОЗ, действовавшая до 2022 г., предполагала возможность заполнения сведений о количестве КТ-исследований с рассчитанными дозами облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований, которые определяются на основе средних доз за процедуру, а не на основе контроля индивидуальных доз облучения пациентов³

³ Роспотребнадзор. Заполнение формы Федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ. Методические рекомендации. М., 2014. 34 с. [Он-лайн ресурс] – Доступно по адресу: http://niirg.ru/PDF/MR_3-DOS_2013.pdf Дата последнего доступа: 03.07.2023. [46. Rosпотребнадзор. Filling out the form of the Federal State Statistical Observation No. 3-DOZ. Guidelines. Moscow, 2014 – 34 p. [Online resource] – Available at: http://niirg.ru/PDF/MR_3-DOS_2013.pdf Last accessed: 07/03/2023. (In Russ.)]

[21]. Анализ формы № 3-ДОЗ показал, что в отдельных регионах Российской Федерации вклад числа расчетных

КТ-исследований в 2011–2021 гг. составлял более 50%, а в некоторых случаях доходил до 100% (табл. 4).

Таблица 4

Вклад числа расчетных КТ-исследований в общее число КТ-исследований в 2011–2021 гг. в регионах Российской Федерации по данным формы № 3-ДОЗ

[Table 4

Contribution of the number of calculated CT examinations to the total number of CT examinations in 2011–2021 in the regions of the Russian Federation according to form No. 3-DOZ]

Субъект РФ [Region of RF]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Республика Адыгея [Republic of Adygeya]	12%	21%	50%	31%	55%	63%	57%	64%	53%	53%	72%
Республика Башкортостан [Republic of Bashkortostan]	78%	66%	61%	44%	26%	34%	39%	48%	51%	59%	63%
Республика Бурятия [Republic of Buryatia]	78%	55%	69%	96%	100%	68%	63%	94%	27%	14%	34%
Республика Алтай [Republic of Altai]	100%	49%	100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Республика Дагестан [Republic of Dagestan]	82%	32%	12%	18%	14%	51%	30%	25%	87%	100%	100%
Республика Ингушетия [Republic of Ingushetia]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Кабардино-Балкарская Республика [Kabardino-Balkarian Republic]	100%	100%	100%	100%	26%	17%	14%	11%	13%	13%	27%
Республика Калмыкия [Republic of Kalmykia]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Карачаево-Черкесская Республика [Karachayevo-Cherkessian Republic]	–	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	0%
Республика Карелия [Republic of Karelia]	85%	92%	40%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Республика Коми [Komi Republic]	5%	6%	5%	2%	2%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
Республика Марий Эл [Republic of Mari El]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Республика Мордовия [Republic of Mordovia]	100%	100%	43%	1%	7%	35%	40%	36%	23%	8%	17%
Республика Саха (Якутия) [Republic of Sakha (Yakutia)]	59%	69%	66%	57%	52%	62%	61%	71%	80%	43%	58%
Республика Северная Осетия – Алания [Republic of North Ossetia – Alania]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Республика Татарстан [Republic of Tatarstan]	100%	100%	95%	42%	48%	49%	46%	42%	0%	0%	0%
Республика Тыва [Republic of Tuva]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	56%	90%	96%
Удмуртская Республика [Udmurtian Republic]	23%	70%	27%	38%	11%	22%	6%	6%	13%	14%	8%
Республика Хакасия [Republic of Khakassia]	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
Чеченская Республика [Chechen Republic]	100%	100%	100%	91%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	52%
Чувашская Республика – Чувашия [Chuvash Republic]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Алтайский край [Altai Territory]	22%	26%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Краснодарский край [Krasnodar Territory]	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Reviews

Продолжение таблицы 2

Субъект РФ [Region of RF]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Красноярский край [Krasnoyarsk Territory]	15%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Приморский край [Primorye Territory]	42%	19%	19%	4%	5%	0%	8%	38%	32%	32%	40%
Ставропольский край [Stavropol Territory]	100%	98%	87%	86%	82%	86%	86%	26%	9%	14%	5%
Хабаровский край [Khabarovsk Territory]	48%	75%	74%	52%	60%	78%	74%	69%	61%	60%	51%
Амурская область [Amur Region]	97%	93%	93%	100%	100%	100%	98%	100%	84%	91%	85%
Архангельская область [Arkhangelsk Region]	12%	3%	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Астраханская область [Astrakhan Region]	86%	81%	37%	6%	11%	4%	22%	7%	19%	14%	6%
Белгородская область [Belgorod Region]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Брянская область [Bryansk Region]	100%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	9%	0%
Владимирская область [Vladimir Region]	20%	12%	3%	0%	1%	1%	6%	4%	1%	1%	0%
Волгоградская область [Volgograd Region]	51%	53%	40%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Вологодская область [Vologda Region]	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%
Воронежская область [Voronezh Region]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Ивановская область [Ivanovo Region]	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%
Иркутская область [Irkutsk Region]	59%	59%	70%	64%	68%	64%	71%	70%	20%	10%	4%
Калининградская область [Kaliningrad Region]	26%	23%	31%	36%	38%	46%	47%	54%	0%	23%	24%
Калужская область [Kaluga Region]	35%	26%	19%	1%	6%	1%	2%	0%	0%	0%	0%
Камчатский край [Kamchatka Territory]	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
Кемеровская область [Kemerovo Region]	10%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Кировская область [Kirov Region]	79%	68%	69%	58%	27%	15%	22%	0%	0%	0%	0%
Костромская область [Kostroma Region]	7%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Курганская область [Kurgan Region]	0%	0%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Курская область [Kursk Region]	0%	0%	4%	14%	2%	25%	0%	0%	0%	2%	25%
Ленинградская область [Leningrad Region]	19%	0%	0%	2%	0%	1%	3%	0%	0%	0%	0%
Липецкая область [Lipetsk Region]	88%	88%	100%	48%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Магаданская область [Magadan Region]	0%	0%	0%	0%	5%	5%	4%	3%	12%	16%	11%
Московская область [Moscow Region]	18%	14%	11%	12%	18%	15%	26%	9%	18%	21%	14%

Обзоры

Продолжение таблицы 2

Субъект РФ [Region of RF]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Мурманская область [Murmansk Region]	100%	100%	94%	86%	90%	76%	94%	74%	69%	0%	0%
Нижегородская область [Nizhny Novgorod Region]	100%	97%	88%	93%	77%	77%	72%	74%	77%	62%	52%
Новгородская область [Novgorod Region]	8%	54%	37%	30%	30%	20%	20%	14%	16%	21%	37%
Новосибирская область [Novosibirsk Region]	9%	14%	17%	29%	8%	5%	1%	5%	7%	21%	2%
Омская область [Omsk Region]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Оренбургская область [Orenburg Region]	72%	80%	54%	63%	65%	77%	69%	58%	51%	68%	78%
Орловская область [Orel Region]	43%	29%	12%	34%	25%	14%	20%	14%	11%	16%	21%
Пензенская область [Penza Region]	92%	85%	85%	88%	77%	83%	77%	59%	76%	56%	4%
Пермский край [Perm Territory]	87%	73%	80%	37%	7%	10%	11%	11%	4%	1%	1%
Псковская область [Pskov Region]	50%	30%	4%	14%	14%	16%	3%	39%	9%	7%	15%
Ростовская область [Rostov Region]	30%	27%	27%	23%	13%	14%	23%	16%	16%	17%	10%
Рязанская область [Ryazan Region]	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Самарская область [Samara Region]	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Саратовская область [Saratov Region]	29%	37%	1%	18%	16%	8%	8%	10%	3%	7%	6%
Сахалинская область [Sakhalin Region]	33%	32%	60%	47%	48%	55%	65%	65%	55%	71%	100%
Свердловская область [Sverdlovsk Region]	69%	11%	13%	4%	22%	26%	26%	32%	30%	32%	30%
Смоленская область [Smolensk Region]	100%	100%	95%	94%	32%	10%	11%	4%	3%	42%	11%
Тамбовская область [Tambov Region]	34%	0%	10%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Тверская область [Tver Region]	100%	100%	98%	100%	42%	34%	29%	33%	38%	55%	65%
Томская область [Tomsk Region]	65%	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Тульская область [Tula Region]	80%	86%	17%	15%	6%	14%	0%	3%	0%	0%	0%
Тюменская область [Tyumen Region]	36%	51%	65%	8%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ульяновская область [Ulyanovsk Region]	92%	94%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Челябинская область [Chelyabinsk Region]	5%	5%	5%	5%	3%	3%	2%	1%	2%	3%	1%
Забайкальский край [Trans-Baikal Territory]	94%	20%	50%	47%	44%	48%	46%	63%	75%	71%	76%
Ярославская область [Yaroslavl Region]	100%	100%	97%	95%	96%	100%	97%	84%	84%	84%	87%
г. Москва [Moscow]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Субъект РФ [Region of RF]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
г. Санкт-Петербург [St. Petersburg]	45%	22%	9%	0%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Region]	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	94%	95%
Республика Крым [Republic of Crimea]	–	–	–	–	46%	55%	53%	80%	80%	78%	63%
Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous Area]	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра [Khanty-Mansi Autonomous Area – Yugra]	29%	10%	30%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous Area]	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	–	100%	100%
Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamal-Nenets Autonomous Area]	100%	79%	54%	75%	68%	60%	57%	77%	72%	86%	81%
г. Севастополь [Sevastopol]	–	–	–	–	0%	51%	38%	24%	10%	11%	12%

Регионы с высоким вкладом числа расчетных КТ-исследований можно разделить на 3 основные группы. К первой группе относятся регионы, где стабильно на протяжении 10 лет наблюдался высокий вклад числа расчетных КТ-исследований, например, Республики Ингушетия, Калмыкия, Северная Осетия – Алания. Ко второй группе относятся регионы с высоким вкладом числа расчетных КТ-исследований, но который постепенно начал снижаться в течение исследуемого периода, например, Мурманская и Нижегородская области, Республика Татарстан, Ставропольский и Камчатский края. К третьей группе можно отнести регионы, в которых до определенного момента вклад числа расчетных КТ-исследований был невысоким и начал повышаться в течение исследуемого периода, например, Сахалинская область, Республика Дагестан, Забайкальский край. Высокий вклад числа расчетных КТ-исследований может объясняться процедурными ошибками при заполнении формы № 3-ДОЗ, отсутствием индивидуального контроля доз пациентов в медицинских организациях.

Распределение СЭД, полученных в результате обработки данных формы № 3-ДОЗ за период 2011–2021 гг., а также по результатам собственного сбора данных ФБУН НИИРГ в 2009–2022 гг. для КТ-исследований ОГК, ОБП, таза и бедра, черепа и ЧЛО, представлены на рисунке 1. Данные из формы № 3-ДОЗ представлены в виде общей выборки по Российской Федерации (см. Материалы и методы). Необходимо отметить, что при сборе данных ФБУН НИИРГ типичные дозы в регионах определялись отдельно для нативных КТ-исследований и КТ-исследований с контрастом. На рисунке 1 значения типичных доз для нативных и контрастных КТ-исследований были объединены в общую выборку, так как в форме № 3-ДОЗ до 2022 г. отсутствовало это разделение.

Результаты попарного сравнения СЭД из выборки собственных данных ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и СЭД из выборок по Российской Федерации формы

№ 3-ДОЗ за каждый исследуемый год с использованием теста Манна – Уитни показали, что за период 2011–2021 гг. достоверные различия ($p < 0,05$) наблюдались для всех 4 анатомических областей. Результаты попарного сравнения СЭД из выборок по Российской Федерации формы № 3-ДОЗ за каждый исследуемый год между собой с использованием теста Манна – Уитни показали, что для КТ-исследований ОГК и черепа и ЧЛО наблюдались достоверные различия; для КТ-исследований таза и бедра и ОБП достоверные различия отсутствовали.

При сравнении отдельных СЭД из регионов за каждый исследуемый год из формы № 3-ДОЗ между собой было установлено, что различия между значениями СЭД для большинства регионов не превышают 10–20%. Данное обстоятельство еще раз подчёркивает преобладающее использование типовых (табличных) значений эффективных доз при заполнении формы № 3-ДОЗ, что не позволяет адекватно использовать и интерпретировать содержащиеся в ней данные.

За период 2011–2021 гг. для КТ-исследований ОГК СЭД находились в диапазоне от 4,2 до 5,9 мЗв за исследование, для ОБП – от 6,5 до 9,2 мЗв, для таза и бедра – от 5 до 6,7 мЗв, для черепа и ЧЛО – от 1,5 до 2,4 мЗв. Отсутствие значимых различий между средними и медианными значениями СЭД для всех временных интервалов свидетельствует о нормальном характере распределения СЭД в выборке регионов Российской Федерации.

Сравнение регионов с максимальными (2011 г. – Псковская область, 2012 г. – Карачаево-Черкесская Республика, 2013 г. – Карачаево-Черкесская Республика, 2014 г. – Белгородская область, 2015 г. – Республика Бурятия, 2016 г. – Ненецкий автономный округ, 2017 г. – Ненецкий автономный округ, 2018 г. – Пензенская область, 2019 г. – Белгородская область, 2020 г. – Псковская область, 2021 г. – Республика Адыгея) и минимальными СЭД (2011 г. – Республика Адыгея, 2012 г. – Республика Адыгея, 2013 г. – Воронежская область, 2014 г. –

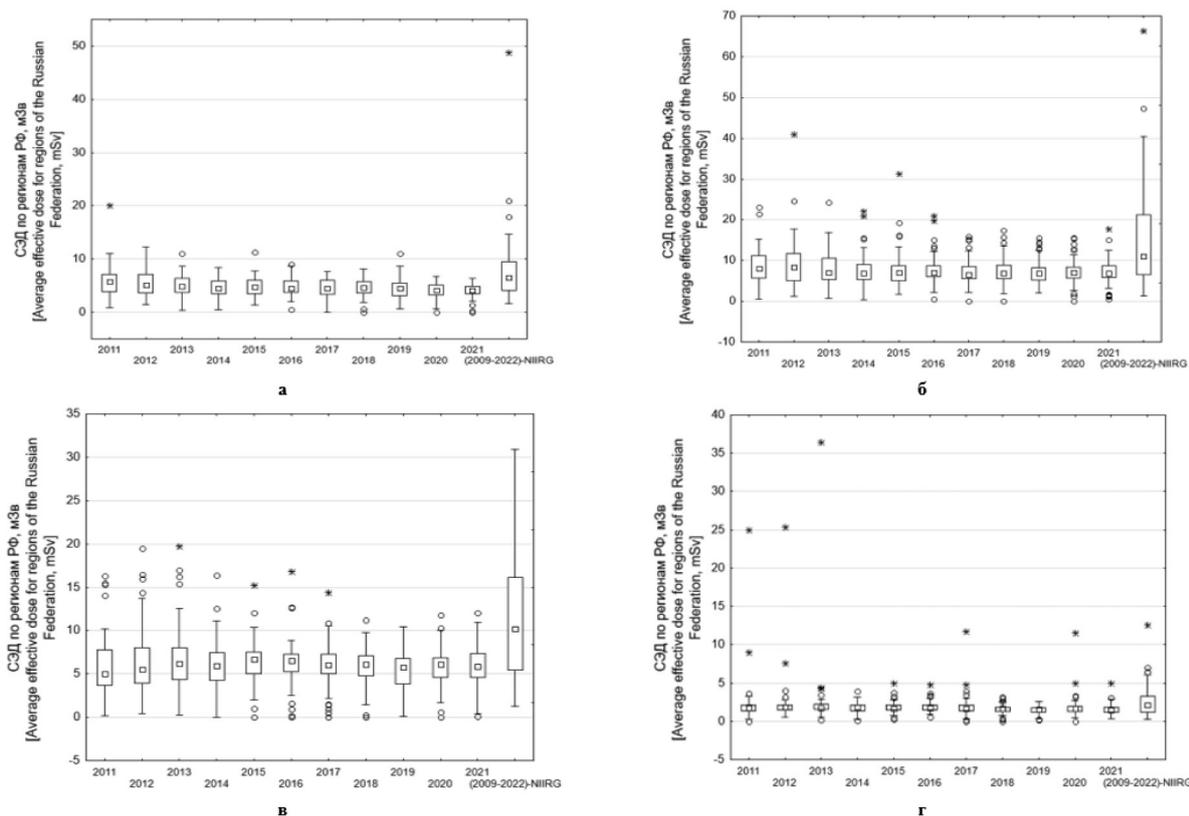


Рис. 1. Распределение СЭД за 1 КТ-исследование по данным регионов Российской Федерации формы № 3-ДОЗ за период 2011–2021 гг., а также по результатам собственного сбора данных ФБУН НИИРГ в 2009–2022 гг. для анатомических областей: а) ОГК; б) ОБП; в) таз и бедро; г) череп и ЧЛО. Графики на рисунке 1 представлены в формате: медиана, 25% – 75% перцентиль (ящик), максимальное (минимальное) значение в выборке, попадающее в 1,5 межквартильных расстояния выше 75% перцентиль (ниже 25%-перцентиль) (усы), выбросы (○) – значения выборки, попадающие от 1,5 до 3 межквартильных размахов выше 75% перцентиль (ниже 25% перцентиль), экстремальные выбросы (□) – значения выборки, попадающие от 3 межквартильных размахов выше 75%-перцентиль (ниже 25% перцентиль)

[Fig. 1. Distribution of average effective doses per one CT examination for regions of the Russian Federation based on the results of data analysis from form No. 3-DOZ in 2011–2021, as well as the results of the IRH's (NIIRG) own data collection in 2009–2022 for anatomical areas: a) chest; b) abdomen; c) pelvis and hips; d) skull and MFA. Graphs are presented in the format: median, 25% – 75% percentile (box), maximum (minimum) value in the sample, falling within 1.5 interquartile distances above the 75% percentile (below the 25% percentile) (whiskers), outliers (○) – sample values falling from 1.5 to 3 interquartile ranges above the 75% percentile (below 25% percentile), extreme outliers (*) – sample values falling from 3 interquartile ranges above the 75% percentile (below the 25% percentile)]

Хабаровский край, 2015–2018 гг. – Республика Крым, 2019 г. – Амурская область, 2020 г. – Республика Крым, 2021 г. – Оренбургская область) значениями с данными таблицы 4 показали, что аномальные значения наблюдались для регионов как с высоким, так и с низким вкладом измеренных доз при КТ; достоверная корреляция отсутствует. Это свидетельствует о необходимости проводить в регионах с аномально низкими СЭД при КТ-исследованиях отдельные исследования, направленные на верификацию доз облучения пациентов и на проверку качества диагностического изображения.

Сравнение средних эффективных доз облучения пациентов для основных анатомических областей при проведении КТ-исследований в Российской Федерации и зарубежных странах по результатам анализа международных отчетов и формы № 3-ДОЗ представлено на рисунке 2.

Сравнение зарубежных и отечественных СЭД показало, что в целом дозы сопоставимы, а разница между ними не превышает 30–40%. Такая разница может быть обусловлена как различиями в оценке эффективных доз

(использование разных видов программного обеспечения, использование тканевых взвешивающих коэффициентов из 103 Публикации МКРЗ в зарубежных отчетах), так и представлением в зарубежных отчетах агрегированной информации, включающей в себя КТ-исследования с контрастом.

Ранее авторами статьи [19] по опубликованным данным за 2017 г. были сделаны прогнозы о тенденциях развития КТ в Российской Федерации на ближайшее десятилетие, а именно – неуклонное увеличение вклада КТ в общее число КТ-исследований и в коллективную дозу, рост средних доз на исследование, сравнимых со средними по Европе. Нужно отметить, что прогнозы об увеличении числа КТ-исследований и увеличения вклада КТ в коллективную дозу подтвердились, главным образом из-за пандемии COVID-19 в 2020–2021 гг. Достоверный рост средних доз за 1 КТ-исследование наблюдается для анатомических областей ОГК и черепа и ЧЛО по результатам анализа формы № 3-ДОЗ. Достоверного роста средних доз за одно КТ-исследование для анато-

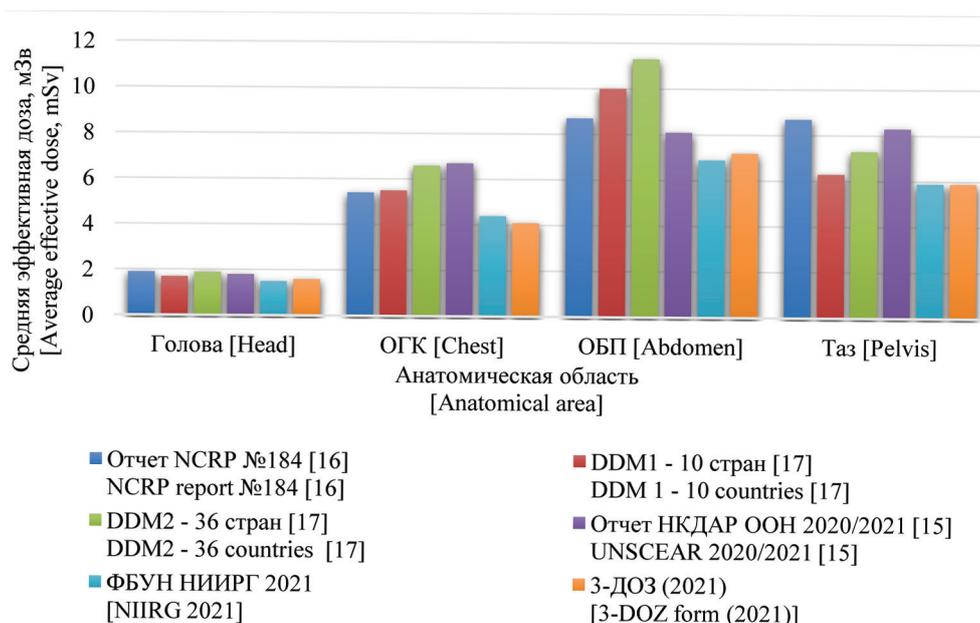


Рис. 2. Сравнение средних эффективных доз пациентов для основных анатомических областей при проведении КТ-исследований в Российской Федерации и зарубежных странах по результатам анализа международных отчетов и формы № 3-ДОЗ

[Fig. 2. Comparison of the average effective doses of patients for the main anatomical areas during CT examinations in the Russian Federation and foreign countries based on the results of the analysis of international reports and form № 3-DOZ]

мических областей ОБП и таза и бедра по результатам анализа формы № 3-ДОЗ, не наблюдается либо его невозможно отследить, учитывая упомянутые ранее недостатки старой версии формы. Для верификации данных формы № 3-ДОЗ необходимо продолжить собственные исследования, нацеленные на изучение уровней облучения пациентов при проведении КТ-исследований в Российской Федерации.

Заключение

За период 2011–2021 гг. наблюдалось резкое развитие КТ-диагностики в Российской Федерации – увеличение общего числа КТ-исследований, числа КТ-исследований на 1000 человек (в 5,9 раз с 32 до 189 КТ-исследований на 1000 человек) и вклада КТ в коллективную дозу от медицинского диагностического облучения (в 3 раза с 26% до 77%). Увеличился показатель числа КТ-исследований на 1 КТ-аппарат: за период 2014–2019 гг. на 2 тыс. (52%), а в 2020 г. еще на 1,85 тыс. (32% по сравнению с 2019 г.) и достиг 7,7 тыс. При этом рост числа КТ-исследований был обусловлен главным образом более интенсивным использованием имеющегося оборудования для КТ.

Основной вклад в структуру и коллективную дозу компьютерной томографии вносят исследования ОГК (2021 г. – 58%/65%), ОБП (2021 г. – 8%/14%), таза и бедра (2021 г. – 3%/4%), черепа и ЧЛО (2021 г. – 18%/7%). При этом в период до 2020 г. максимальный вклад в число КТ-исследований наблюдался для исследований черепа и ЧЛО; в коллективную дозу – для исследований органов брюшной полости. Пандемия COVID-19 в 2020–2021 гг. стала причиной изменения структуры КТ-исследований и коллективной дозы в Российской Федерации. На пер-

вое место по вкладу в число исследований и в коллективную дозу вышли КТ-исследования ОГК.

Значения СЭД при КТ-исследованиях рассмотренных анатомических областей за период исследования значительно изменялись только для исследований ОГК и черепа и ЧЛО ($p < 0,05$). Для КТ-исследований таза и бедра и ОБП СЭД изменялись незначительно. За период 2011–2021 гг. для КТ-исследований ОГК СЭД находились в диапазоне от 4,2 до 5,9 мЗв за исследование, для ОБП – от 6,5 до 9,2 мЗв, для таза и бедра – 5 до 6,7 мЗв, для черепа и ЧЛО – 1,5 до 2,4 мЗв.

За период 2011–2019 гг. Российской Федерации существенно уступала по распространенности и доступности КТ-исследований зарубежным странам. Сравнение числа КТ-исследований на 1000 человек и вклада КТ в коллективную дозу от медицинского диагностического облучения в мире и в РФ показало, что за сравниваемый период (2009–2015 гг.) в Российской Федерации эти показатели были существенно ниже, чем в зарубежных странах (до 3,5 раза по числу КТ-исследований на 1000 человек и до 1,6 раз по вкладу КТ в коллективную дозу). Даже в период пандемии COVID-19 на фоне увеличения числа КТ-аппаратов и увеличения их загрузки в Российской Федерации показатель числа КТ-исследований на душу населения достиг значения 0,12, что в 2 раза ниже этого же показателя в США в 2016 г. и сопоставимо с показателем Германии в 2015 г.

Важным для понимания тенденции развития КТ в Российской Федерации должен стать 2022 г. – год после пандемии COVID-19. Дальнейший рост числа КТ-исследований в 2022 г. или, наоборот, его стабилизация позволит сделать более подробные выводы о том, связан ли данный рост непосредственно с пандемией или

это общее стремительное развитие КТ-диагностики за счет увеличения единиц аппаратного парка, доступности и развития диагностических возможностей данного вида лучевой диагностики.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Дружинина П.С. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнал.

Романович И.К. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, редакция промежуточного варианта статьи.

Водоватов А.В. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, редакция промежуточного варианта статьи.

Чипига Л.А. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, редакция промежуточного варианта статьи.

Ахматдинов Р.Р. – предоставление необходимой информации для исследования из федерального банка данных ФБУН НИИРГ, редакция промежуточного варианта статьи.

Братилова А.А. – предоставление необходимой информации для исследования из федерального банка данных ФБУН НИИРГ, редакция промежуточного варианта статьи

Рыжов С.А. – поиск и анализ литературных данных, редакция промежуточного варианта статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Рыжов С.А., и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 17–33. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>.
2. Samei E., Pelc N.J. [Editors]. Computed Tomography: Approaches, Applications, and Operations. Springer, Switzerland. 2020. 469 p.
3. Mettler F.A. Jr., Huda W., Yoshizumi T.T., Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog // Radiology. 2008. Vol. 248, No 1. P. 254-63. doi: 10.1148/radiol.2481071451. PMID: 18566177.
4. Mettler F.A. Jr., Bhargavan M., Faulkner K., et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources--1950-2007 // Radiology. 2009. Vol. 253, No 2. P. 520-31. doi: 10.1148/radiol.2532082010. Epub 2009 Sep 29. PMID: 19789227.
5. Vodovатов AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA et al. Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in march – june 2020 // MedRxiv. 2020. 13 p. doi:<https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>.
6. Попова А.Ю., Водоватов А.В., Романович И.К. и др. Влияние пандемии COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении в 2020 г. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 6-39. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39>.
7. Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении // Вестник рентгенологии и радиологии. 2016. Т. 97, № 1. С. 33-39. DOI 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40. EDN VSNXGX.
8. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., и др. Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67-79. EDN WBFKND.
9. Chipiga L., Bernhardsson C. Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian federation // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 169, No. 1. P. 240-244. DOI 10.1093/rpd/ncv516. EDN WUWDIJ.
10. Водоватов А.В., Голиков В.Ю., Кальницкий С.А. и др. Анализ уровней облучения взрослых пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований в Российской Федерации в 2009-2014 гг. // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 3. С. 66-75. DOI 10.21514/1998-42602017-10-3-66-75. EDN ZMQTIT.
11. Братилова А.А., Голиков В.Ю., Кальницкий С.А. Уровни облучения пациентов при проведении рентгеновской компьютерной томографии в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 3. С. 33-38. EDN SVJUJR.
12. Голиков В.Ю., Балонов М.И., Кальницкий С.А. и др. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 1. С. 5-13. EDN NRBIQJ.
13. Рыжов С.А., Водоватов А.В., Солдатов И.В. и др. Предложения по совершенствованию системы радиационной безопасности при медицинском облучении. Часть 1. Анализ информации, содержащейся в государственных отчетных формах и информационных базах данных, на примере города Москвы // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 92-109. DOI 10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109. EDN DYUPWO.
14. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Он-лайн ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/> (Дата обращения: 03.07.2023).
15. UNSCEAR. Report to the General Assembly. Volume 1. Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation// UNSCEAR 2020/2021 report. 2022. 344 p.
16. NCRP. Medical Radiation Exposure of Patients in the United States// NCRP REPORT No. 184. 2019. 310 p.
17. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population Part 1/2// Radiation protection N° 180. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. 181 p.
18. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Братилова А.А., и др. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований». Предпосылки к переработке // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 126-136. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136>.
19. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты. Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2. С. 6-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24>.

Поступила: 18.07.2023 г.

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник, лаборатория 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

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

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, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

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; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

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

Братилова Анжелика Анатольевна – старший научный сотрудник, исполняющая обязанности заведующего лабораторией внутреннего облучения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Россия, Санкт-Петербург, Россия

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

Для цитирования: Дружинина П.С., Романович И.К., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Ахматдинов Р.Р., Братилова А.А., Рыжов С.А. Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 101-117. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117

Trends in the development of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021

Polina S. Druzhinina¹, Ivan K. Romanovich¹, Aleksandr V. Vodovatov^{1,2}, Larisa A. Chipiga^{1,3,4}, Ruslan R. Akhmatdinov¹, Anzhelika A. Bratilova¹, Sergey A. Ryzhov^{5,6,7}

¹Saint-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

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

³A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁵Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁶Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁷Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

The article presents the analysis of the structure of computed tomography diagnostics according to the forms of the federal state statistical observation (radiation-hygienic passports in 2011–2021, forms № 3-DOZ in 2011–2021 and forms № 30 in 2014–2020) in order to assess the status of CT diagnostics in the Russian Federation and identify the main trends in the development of this type of radiation diagnostics and patient doses. In 2011–2021, there was a sharp development of CT diagnostics in the Russian Federation – an increase in the number of CT examinations per 1000 people (up to a factor of 5.9 – from 32 CT examinations per 1000 people to 189 CT examinations per 1000 people) and the contribution of CT in the collective dose from medical diagnostic exposure (3 times from 26% to 77%). The number of CT examinations per 1 CT device from 2014 to 2019 increased by 2 thousand (52%), and in 2020 by another 1.85 thousand (32% compared to 2019) and reached 7.7 thousand. The increase in the number of CT examinations was mainly due to the increased use of CT equipment. The main contribution to the structure and collective dose of computed tomography in 2021 is made by examinations of chest (58%/65%), abdomen (8%/14%), pelvis and hips (3%/4%), skull and maxillofacial area (18%/7%). In 2011–2021 for chest CT examinations, the average effective dose was in the range from 4.2 to 5.9 mSv per examination, for abdomen – from 6.5 to 9.2 mSv, for pelvis and hips – 5 to 6.7 mSv, for skull and maxillofacial area – 1.5 to 2.4 mSv. The COVID-19 pandemic in 2020–2021 caused a change in the structure of CT examinations and collective dose in the Russian Federation – the chest CT examinations occupied the first place of the contribution to the number of examinations and the collective dose. The number of CT examinations per 1000 people and the contribution of CT to the collective dose from medical diagnostic exposure in the Russian Federation were significantly lower than those in foreign countries (up to a factor of 3.5 in the number of CT examinations per 1000 people and up to a factor of 1.6 of the contribution of CT to the collective dose).

Key words: computed tomography, effective dose, The unified system of control and accounting of individual exposure doses of citizens, form No. 3-DOZ, radiation-hygienic certification

Personal contribution of authors

Polina S. Druzhinina – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, data processing, wrote the manuscript, and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Ivan K. Romanovich – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, provided general scientific management of the project and edited the interim version of the manuscript.

Aleksandr V. Vodovatov – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, provided general scientific management of the project and edited the interim version of the manuscript.

Larisa A. Chipiga – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, provided general scientific management of the project and edited the interim version of the manuscript.

Ruslan R. Akhmatdinov – provided the necessary information for the project from the federal data bank of the FBUN NIIRG, edited the interim version of the manuscript.

Anzhelika A. Bratilova – provided the necessary information for the project from the federal data bank of the FBUN NIIRG, edited the interim version of the manuscript.

Sergey A. Ryzhov – searched and analyzed of literature data, edited the interim version of the manuscript.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

References

1. Druzhinina PS, Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovatov AV, Berkovich GV, Smirnov AV, et al. Proposals for the Russian quality assurance program in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 17–33. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33>

Polina S. Druzhinina

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

2. Samei E, Pelc NJ. [Editors]. Computed Tomography: Approaches, Applications, and Operations. Springer, Switzerland; 2020. 469 p.
3. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology*. 2008;248(1): 254-63. doi: 10.1148/radiol.2481071451. PMID: 18566177.
4. Mettler FA Jr, Bhargavan M, Faulkner K, Gilley DB, Gray JE, Ibbott GS, et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources-1950-2007. *Radiology*. 2009;253(2): 520-31. doi: 10.1148/radiol.2532082010. Epub 2009 Sep 29. PMID: 19789227.
5. Vodovatov AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA et al. Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in march – june 2020. *MedRxiv*. 2020:13. doi:https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396.
6. Popova AY, Vodovatov AV, Romanovich IK, Ryzhov SA, Druzhinina PS, Akhmatdinov RR. The impact of the COVID-19 pandemic on the structure of radiation diagnostics and collective doses of the population of the Russian Federation under medical irradiation in 2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(3): 6-39. (In Russian) https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39.
7. Matkevich EI, Sinitsyn VE, Mershina EA. Comparative survey of radiation doses to patients in computed tomography in a federal hospital. *Vestnik rentgenologii i radiologii = Journal of radiology and nuclear medicine*. 2016;97(1): 33-39. (In Russian) https://doi.org/10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40.
8. Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA, Kalnitsky SA, Repin VS, Sarycheva SS, et al. CURRENT LEVELS OF MEDICAL EXPOSURE IN RUSSIA. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 67-79. (In Russian).
9. Chipiga L, Bernhardtsson C. Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian federation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;169(1): 240-244. DOI 10.1093/rpd/ncv516. EDN WUWDIJ.
10. Vodovatov AV, Golikov VYu, Kalnitsky SA, Shatsky IG, Chipiga LA. Evaluation of levels of exposure of adult patients from common radiographic examinations in the Russian Federation in 2009–2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3): 66-75. (In Russian) https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-66-75.
11. Bratilova AA, Golikov VYu, Kalnitsky SA. Exposure levels of patients during computed tomography in medical organizations of Saint-Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(3): 33-38. (In Russian).
12. Golikov VYu, Balonov MI, Kalnitsky SA, Bratilova AA, Sarycheva SS, Shazky IG, et al. Exposure levels of patients during radiological examinations in St. Petersburg and the Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(1): 5-13. (In Russian).
13. Ryzhov SA, Vodovatov AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Mukhortova AN, Druzhinina YuV, et al. Proposals for Improving the System of Radiation Safety in Medical Exposure. Part 1. Analysis of information contained in state reporting forms and information databases in Moscow. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(3): 92-109. (In Russian) https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109.
14. Official website of the Federal State Statistics Service. – Available from: https://rosstat.gov.ru/ (Accessed: 07.03.2023).
15. UNSCEAR. Report to the General Assembly. Volume 1. Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation// UNSCEAR 2020/2021 report. 2022. 344 p.
16. NCRP. Medical Radiation Exposure of Patients in the United States// NCRP REPORT No. 184. 2019. 310 p.
17. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population Part 1/2// Radiation protection N° 180. – Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2014. 181 p.
18. Onischenko GG, Popova AY, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 6-24. (In Russian) https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24.
19. Vodovatov AV, Chipiga LA, Bratilova AA, Druzhinina PS, Shatskiy IG, Petryakova AV, et al. Update of the federal governmental statistical surveillance form № 3-DOZ “Data on patient doses from medical X-ray examinations”. Prerequisites for the update. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 126-136. (In Russian) https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136.

Received: July 18, 2023

For correspondence: Polina S. Druzhinina – junior research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, 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: druzhininapauline@gmail.com)

Ivan K. Romanovich – Dr. Sc. Med., Prof., Academician of 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

Aleksandr V. Vodovatov – PhD, lead research fellow, Head of the Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, docent of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; research fellow, Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies; docent, Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

Anzhelika A. Bratilova – senior researcher, interim head of the Laboratory of internal exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Ruslan R. Akhmatdinov – junior research fellow, Information-analytical center of the 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

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

For citation: Druzhinina P.S., Romanovich I.K., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Akhmatdinov R.R., Bratilova A.A., Ryzhov S.A. Trends in the development of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 101-117. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117

Условия труда и значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом

С.Ю. Бажин, Е.Н. Шлеенкова, В.Ю. Богатырёва

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

Представлен обзор, включающий описание работы и основные положения об условиях труда дефектоскопистов с позиций системы обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля. Указаны значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом. Для представления были выбраны официальные источники информации о дозах в Российской Федерации и в мире, полученные по результатам индивидуального дозиметрического контроля. Данные собственных измерений в данный обзор включены не были. Учтено различие в наименовании специальности исследуемой группы персонала на русском и английском языках и различие в обработке первичной измерительной информации в отечественных и зарубежных источниках информации. Демонстрируется актуальность необходимости разрешения вопросов радиационной безопасности и радиационного контроля персонала, занимающегося дефектоскопией, в связи с тем, что в Российской Федерации существуют нормативно-методические документы, затрагивающие организацию и проведение индивидуального дозиметрического контроля персонала медицинской сферы и атомной промышленности, но они не включают персонал, проводящий дефектоскопию. Поэтому индивидуальный дозиметрический контроль дефектоскопистов осуществляется аккредитованными лабораториями в соответствии с положениями МУ 2.6.1.3015-12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций», т.е. без учёта сценариев облучения персонала, занятого проведением дефектоскопических работ, и специфики его работы. Полученные таким образом дозы внесены в региональные и федеральные банки данных доз облучения персонала. При внесении значений доз в банки данных отсутствует подразделение персонала на персонал, выполняющий дефектоскопию в стационарных и в нестационарных условиях, поэтому осуществляется усреднение доз персонала, проводящего различные виды дефектоскопии.

Ключевые слова: индивидуальный дозиметрический контроль, дефектоскопия, неразрушающий контроль, среднегодовая эффективная доза.

Введение

Среди специальностей персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), существуют категории персонала, которые были достаточно хорошо изучены с позиций организации и проведения индивидуального дозиметрического контроля (ИДК). Хорошо изучены медицинские специальности и специальности, обеспечивающие работу атомной отрасли, для которых существуют методические документы по индивидуальному дозиметрическому контролю. Так, на протяжении многих лет ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева проводил научно-исследовательские работы по рационализации и оптимизации ИДК в медицинских организациях. Данные работы включали в себя и специфические виды контроля: определение эквивалентов доз внешне-

го облучения хрусталика глаза и кожи отдельных специальностей в медицинских организациях, выполняемые как подготовительный этап к возможному переходу на новый годовой предел дозы на хрусталик глаза, равный 20 мЗв [1,2].

Промышленные специальности изучены недостаточно. Организация ИДК для дефектоскопистов в отечественных научных публикациях представлена скупо, особенно в рецензируемых изданиях, а нормативно-методические документы по организации и проведению ИДК для данной специальности не разработаны. В большинстве случаев предприятия данной отрасли и аккредитованные лаборатории при проведении ИДК руководствуются положениями МУ 2.6.1.3015-12 «Организация и проведение индивидуального дозиметрического кон-

Бажин Степан Юрьевич

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: s.bazhin@niirg.ru

троля. Персонал медицинских организаций»¹ в вопросах выбора операционных величин, периодичности контроля, количества индивидуальных дозиметров, места их расположения и трактовки результатов измерений. Таким образом, к различным специальностям и профессиональным отраслям применяются одинаковые подходы в организации и проведении контроля, что является не вполне корректным и не учитывает сценарии облучения и специфику работы всей когорты специалистов при различных условиях работы. Непосредственное применение положений МУ 2.6.1.3015-12 и отраслевых методических указаний Росатома к другим отраслям деятельности является некорректным также и с юридических позиций. Поэтому назрела необходимость разработки методического документа, регламентирующего все особенности ИДК персонала, занятого в данных областях деятельности.

Таким образом, целью настоящего обзора является анализ доз внешнего облучения дефектоскопистов в России и некоторых зарубежных странах, а также демонстрация существующих трудностей в организации и проведении радиационного контроля для этой специальности.

В качестве материала исследования при осуществлении литературного поиска использовались научные публикации из библиографических баз Pubmed/MEDLINE, Google Scholar, eLIBRARY. Дополнительно были рассмотрены документы НКДАР ООН и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), а также информационные сборники о дозах облучения населения в Российской Федерации. Ключевыми словами для поиска являлись: «Дефектоскопия», «Неразрушающий контроль», «Effective doses in nondestructive testing», «Effective doses in Industrial radiography».

Всего по указанным поисковым запросам было найдено 332 литературных источника. После проведения поискового запроса по ключевым словам были исключены дублирующие результаты. Была проведена селекция полученных источников по текстовому содержанию, обращали внимание на год публикации, дизайн исследований, цель, методологию и результаты.

Условия работы и обеспечение радиационной безопасности дефектоскопистов

Дефектоскопические методы основаны на законах ослабления ионизирующего излучения веществом: при просвечивании контролируемого объекта пучком рентгеновского/гамма-излучения формируется теневое изображение его внутренней структуры, далее с использованием различных систем регистрации прошедшего через объект контроля излучения оценивается качество контролируемого объекта. В зарубежной литературе термин «Дефектоскопия» обозначается иначе и чаще – это «Industrial radiography» или «Nondestructive testing», что в дословном переводе на русский язык означает «Промышленная радиография» и «Неразрушающий контроль» соответственно, а специалисты данной сферы – радиографы и операторы неразрушающего контроля («radiograph», «nondestructive testing operator»).

По данным опубликованного в 2022 г. научного отчёта НКДАР ООН [3], за период наблюдения с 1975 г. в мире увеличивается количество специалистов, занимающихся дефектоскопией. За первые 10 лет (1975–1984 гг.) число наблюдаемых рабочих, занимающихся дефектоскопией, увеличилось с 72 000 до 116 000 человек. Затем количество учтённых работников оставалось примерно на том же уровне и составляло примерно 113 000 человек в 2014 г.

По данным официальных источников, с каждым годом количество дефектоскопистов в Российской Федерации увеличивается. На рисунке 1 представлено количество дефектоскопистов в Российской Федерации за период 2015–2021 гг. Значения, отображенные на графике, взяты из федеральных банков данных доз облучения персонала [4–10].

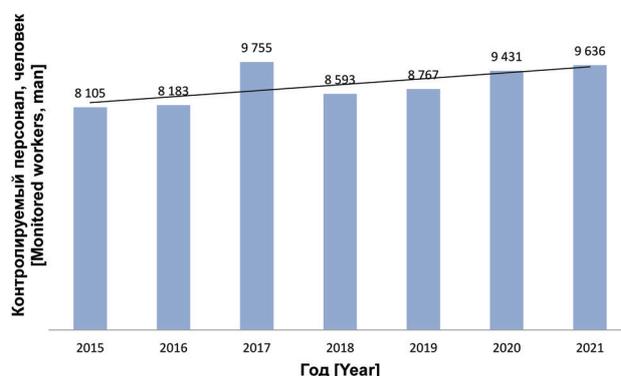


Рис. 1. Динамика изменения количества дефектоскопистов в Российской Федерации за период 2015–2021 гг. [4–10]

[Fig. 1. Dynamics of changes in the number of nondestructive testing operators in the Russian Federation for the period 2015–2021 [4–10]]

В Российской Федерации в период 2015–2021 гг. наблюдается плавное увеличение количества человек, занимающихся дефектоскопией, – с 8105 человек в 2015 г. до 9636 человек в 2021 г. [4–10]. Количество дефектоскопистов в 2017 г., равное 9755 человек, выбивается из тренда в сравнении с двумя соседними годами, но не вносит корректив в направление линии тренда.

МАГАТЭ разработало систему классификации источников ионизирующего излучения [11]. В этой системе наиболее опасным с точки зрения воздействия на здоровье источникам присвоена категория 1. Чем выше присвоенный номер категории, тем ниже уровень потенциального риска. В самой классификации выделены 5 различных категорий. Источники, используемые в промышленной радиографии, отнесены ко 2 категории, т.е. являются опасными. Основными применяемыми ИИИ в дефектоскопии во всём мире являются рентгеновские установки с напряжением трубки, находящимся в диапазоне 200–300 кВ, а также радионуклидные источники на основе ¹⁹²Ir и ⁷⁵Se, реже применяются также источники, содержащие ⁶⁰Co.

¹ МУ 2.6.1.3015-12. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. Радиационная гигиена. 2012. 5 (3). 77–86 [Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff". Radiation Hygiene. 2012;5(3):77-86. (In Russ.)]

В особых случаях используются портативные ускорители, которые хорошо подходят для тестирования очень толстых объектов и обычно не используются в рутинных процедурах, а применяются для конкретных проектов. Для бетонных объектов толщиной до 1 м используют бетатрон с энергией излучения, равной 6 МэВ [12].

Наиболее часто используемым из генерирующих дефектоскопов является рентгеновский дефектоскоп. Рентгеновский дефектоскоп является ИИИ только после подачи напряжения на рентгеновскую трубку. Поэтому при перевозке и хранении обесточенные рентгеновские дефектоскопы не представляют радиационной опасности и не требуют принятия специальных мер радиационной защиты.

Несмотря на явные преимущества в удобстве, дешевизне и безопасности генерирующих источников, их внедрение вызвало появление ряда трудноразрешимых задач в проведении радиационного контроля. В наибольшей мере это проявляется в трудности измерения доз и мощностей доз импульсного излучения. Значения мощностей доз в импульсах, даже на расстоянии рабочих мест, находятся за пределами возможностей измерений, выполняемых по действующим в настоящее время методикам и на существующих измерительных приборах [13]. При проведении ИДК возможно использовать индивидуальные дозиметры на основе термолюминесцентных детекторов, т.к. многие данные свидетельствуют, что для мощностей доз до 10^9 Гр·с⁻¹ для LiF и до 10^{10} Гр·с⁻¹ для Li₂B₄O₇·Mn их отклик не зависит от мощности дозы [13].

В России согласно СП 2.6.1.3241-14² в радионуклидной дефектоскопии применяются источники на основе радионуклидов ⁶⁰Co, ⁷⁵Se, ¹³⁷Cs, ¹⁷Tm, ¹⁹²Ir. Также используются радиоизотопные источники тормозного излучения на основе бета-излучающих радионуклидов ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, ¹⁴⁷Pm, ²⁰⁴Tl, радионуклидные источники нейтронов и другие закрытые радионуклидные источники.

Дефектоскопию в зависимости от условий труда подразделяют на дефектоскопию в стационарных условиях и дефектоскопию в нестационарных условиях. Соответственно, по мобильности дефектоскопы можно поделить на 2 типа: стационарные и переносные.

При дефектоскопии в стационарных условиях неразрушающий контроль проводится в специализированных защитных боксах, а персонал располагается в комнатах управления, обеспечивающих его радиационную защиту, и управляет дефектоскопом дистанционно. Поэтому для персонала, проводящего дефектоскопию в стационарных условиях, обеспечивается необходимый уровень радиационной безопасности, и не возникает проблем с организацией и проведением радиационного контроля, т.к. работы производятся на достаточном расстоянии от источника и облучение всего тела персонала достаточно равномерно, поэтому одного индивидуального дозиметра, расположенного на поверхности тела в районе груди,

достаточно, чтобы по его показаниям с помощью соответствующего коэффициента перехода оценить значение эффективной дозы.

При некоторых видах работ нет возможности проводить дефектоскопию в стационарных условиях, и персонал проводит дефектоскопию с использованием переносных дефектоскопов. Нужно понимать, что проведение дефектоскопии с использованием переносных источников излучения больших энергий в нестационарных условиях чревато возможным нахождением в зоне проведения работ посторонних лиц, а эффективные технические средства защиты и контроля не всегда способны обеспечить безопасность персонала и населения. НКДАР ООН констатировал, что радиологические инциденты, приводящие к высоким уровням облучения, чаще происходят при проведении дефектоскопии в нестационарных условиях [14]. По этой причине было зарегистрировано значительное количество инцидентов, связанных с проведением дефектоскопии в нестационарных условиях, когда пострадали не только дефектоскописты, но и случайные лица из населения [15].

В отечественных нормативных документах описаны следующие требования, касающиеся проведения дефектоскопии с рентгеновскими стационарными и переносными источниками и проведения дефектоскопии с радионуклидными источниками.

В СанПиН 2.6.1.3164-14³ указано, что в организациях, осуществляющих рентгеновскую дефектоскопию, должны быть организованы рентгенодефектоскопические лаборатории. Устройство таких лабораторий определяется наличием и назначением рентгеновских дефектоскопов, их техническими параметрами, а также объемом и характером выполняемых работ.

В СП 2.6.1.3241-14 прописаны требования к устройству радионуклидных дефектоскопов. Радиационная защита дефектоскопа не должна иметь внутренних дефектов, снижающих защитные свойства. При хранении источник должен находиться в защитном блоке радионуклидного дефектоскопа. Конструкция радионуклидного дефектоскопа должна быть надёжной и устойчивой к внешним воздействиям, должна ограничивать доступ к источнику посторонних лиц и иметь адекватную систему сигнализации (электрической, механической, цветовой, радиометрической, звуковой). Защитные боксы, где размещают стационарные радионуклидные дефектоскопы, должны быть обеспечены системой автоматической блокировки входной двери, когда источник переводят в рабочее положение. Пульт управления стационарными дефектоскопами должен быть размещён в отдельном помещении, должным образом обеспечивающим радиационную защиту персонала.

На рисунках 2 и 3 показаны примеры организации дефектоскопии для проведения как в стационарных, так и в нестационарных условиях.

² СП 2.6.1.3241-14 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при радионуклидной дефектоскопии» [SP 2.6.1.3241-14 "Hygienic requirements for ensuring radiation safety during radionuclide flaw detection" (In Russ.)]

³ СанПиН 2.6.1.3164-14 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при рентгеновской дефектоскопии» [SanPIN 2.6.1.3164-14 "Hygienic requirements to ensure radiation safety in X-ray flaw detection" (In Russ.)]



Рис. 2. Пример проведения дефектоскопии в стационарных условиях в специально оборудованном помещении при дистанционной работе персонала [16]

[Fig. 2. An example of nondestructive testing in stationary conditions in a specially equipped room with remote work of personnel [16]]

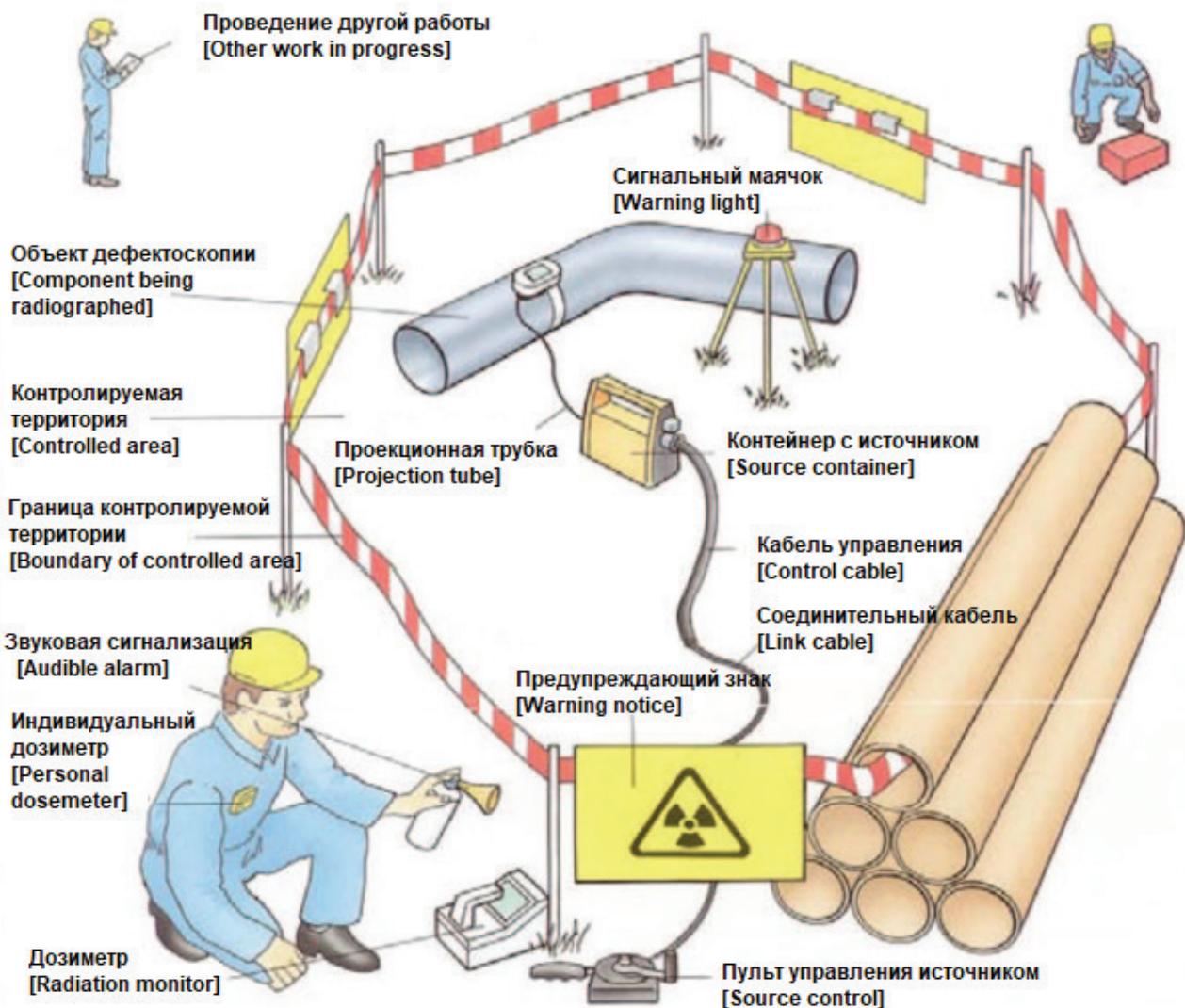


Рис. 3. Пример проведения дефектоскопии в нестационарных условиях с радионуклидным источником ионизирующего излучения. Адаптировано из [17]

[Fig. 3. An example of nondestructive testing in non-stationary conditions with a radionuclide source of ionizing radiation. Adapted from [17]]

На рисунке 3, демонстрируемом в буклете МАГАТЭ по обеспечению радиационной защиты дефектоскопистов [17], изображена организация рабочего места и основных мероприятий по безопасности рабочего процесса при проведении дефектоскопии в нестационарных условиях. Этот рисунок наглядно иллюстрирует работу одной бригады с переносным дефектоскопом с радионуклидным источником и отражает требования СП 2.6.1.3241-14, где перечислены следующие особенности работ с переносными радионуклидными дефектоскопами. При проведении работ в нестационарных условиях в одноэтажных цехах и на открытых площадках, где нет защитных боксов, работу проводят таким образом, чтобы направление пучка излучения было преимущественно вниз. Когда невозможно обеспечить такое положение пучка, его направляют в сторону, противоположную от ближайших мест нахождения персонала и мест возможного нахождения людей. В этом случае излучение, прошедшее сквозь объект контроля, должно быть перекрыто защитным экраном такой толщины, которая обеспечивает снижение излучения до допустимых значений на рабочих местах и в смежных помещениях. Также при проведении таких работ следует устанавливать размеры и маркировать знаками радиационной опасности или предупреждающими надписями зону ограничения доступа, в пределах которой мощность амбиентного эквивалента дозы излучения при проведении радионуклидной дефектоскопии может превышать 1,0 мкЗв/ч. При проведении радионуклидной дефектоскопии нахождение посторонних лиц в зоне ограничения доступа должно быть исключено.

Важно отметить, что радионуклидные дефектоскопы представляют радиационную опасность не только при проведении работ, но также при транспортировке и хранении. В соответствии с СП 2.6.1.3241-14 мощность амбиентного эквивалента дозы на расстоянии 1 м при переносе таких дефектоскопов с защищённым источником может быть до 20 мкЗв/ч. Поэтому могут создаваться условия, когда экранированный источник находится на близком расстоянии к телу работника, и поле облучения будет являться резко неравномерным, причём в такой ситуации велика вероятность недооценки эффективной дозы по результатам индивидуальной дозиметрии, когда индивидуальный ТЛ-дозиметр размещается на груди работника. В данном случае целесообразно изменить методический подход в проведении ИДК и предложить использование 2 индивидуальных дозиметров, 1 из которых располагается на участке тела работника вблизи переносимого дефектоскопа, а второй – на уровне груди. Однако для применения этого подхода необходимо провести серию натурных измерений.

При сборе информации в организациях, проводящих дефектоскопию в нестационарных условиях, определили следующий условный режим работы: в Российской Федерации бригады состоят чаще из 2 дефектоскопистов (редко встречаются бригады численностью 5–6 человек). За 1 рабочую смену бригада проверяет около 20 сварных стыков, каждый стык – от 2 до 5 снимков в разных проекциях (в среднем – около 80 включений дефектоскопа в день). Время экспозиции – от 10 до 50 с в зависимости от толщины труб.

При анализе по данным литературных источников не получается выделить значимых различий в организации рабочего процесса и в условиях труда дефектоскопистов в Российской Федерации и зарубежных странах.

Частота радиационных инцидентов среди дефектоскопистов

По данным на 1998 г., на долю промышленной радиографии во всем мире приходится примерно 50% всех зарегистрированных радиационных инцидентов [18]. К причинам, приводящим к возникновению радиационных инцидентов, относят: несоблюдение эксплуатационных протоколов (особенно при несоблюдении персоналом правил радиационной безопасности); недостаточная подготовка персонала, в том числе по вопросам обеспечения радиационной безопасности и радиационного контроля; ненадлежащее техническое обслуживание, неисправность оборудования или дефекты, приводящие к неисправности оборудования; ошибки персонала, часто возникающие из-за загруженности, неадекватного графика работы или неблагоприятных условий труда; недостаточный текущий контроль.

В последние годы количество радиационных инцидентов и число пострадавших людей в промышленной сфере деятельности резко сократилось, уступив первенство медицинской сфере [19]. Так, в период 1980–1989 гг. всего было зарегистрировано 173 (1114 пострадавших лиц) инцидента, из них 91 приходилось на промышленную сферу, а 51 – на медицинскую. А в период 2010–2013 гг. из 66 радиационных инцидентов на промышленную сферу приходилось 7, а на медицинскую – 57, при этом количество пострадавших лиц составило 12 и 64 соответственно при общем количестве зарегистрированных пострадавших 85.

В научной литературе и отчётах МАГАТЭ были подробно описаны инциденты с операторами дефектоскопов, произошедшие с 1960-х гг. [20–26]. Трагические случаи происходили в Индии, Японии, Бельгии, США и в других странах. Последствия инцидентов часто сопровождалось нанесением существенного вреда здоровью персонала от временного бесплодия и анемии до ампутации конечностей или заканчивались летально [27–31]. Также необходимо отметить, что были и публикации, которые указывали на существенную недооценку доз, значения которых были получены методом термолюминесцентной дозиметрии. Так, например, в Южной Корее был случай азооспермии, когда по данным измерения индивидуального дозиметра 39-летнего дефектоскописта был зафиксирован уровень облучения, равный 17,81 мГр в течение 80 месяцев, в то время как результаты анализа его транслокационной гибридизации *in situ* (FISH) показали уровень облучения до 1,926 Гр кумулятивного излучения, которого было достаточно, чтобы вызвать азооспермию [32]. Данный случай подтверждает необходимость оценить правильность проведения ИДК с обоснованием и разработкой новых методических подходов к организации и проведению ИДК методом термолюминесцентной дозиметрии, учитывающих различные сценарии облучения персонала.

Все представленные случаи говорят об особой опасности работы дефектоскопистов и необходимости строгого соблюдения требований радиационной безопасности.

Анализ доз облучения при нормальной эксплуатации

Источники излучений, используемые в дефектоскопии, отличаются высокой интенсивностью излучения, поэтому в процессе нормальной контролируемой эксплуатации могут вносить существенный вклад в формирование дозы персонала. В зарубежных источниках можно найти данные по средним дозам облучения дефектоскопистов. Так, на Европейской платформе профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform) [33] представлены данные по дозам облучения, в том числе персонала, занятого в промышленной сфере деятельности «Industry», при этом в отдельную группу выделен персонал, занимающийся ядерным синтезом, т.е. мы делаем вывод, что в категории «Industry» подавляющее большинство представителей группы – дефектоскописты. Прямое сравнение данных по дозам, представленным на ESOREX Platform, с данными официальных источников в Российской Федерации и с собственными данными произвести нельзя по причине существенных различий в обработке первичной измерительной информации. Ранее был предложен алгоритм сравнения среднегодовых эффективных доз, полученных в Российской Федерации и в ряде зарубежных стран на примере медицинского персонала [34]. В данной статье были показаны различия в обработке первичной измерительной информации, приводящие к существенным отличиям в представленных значениях доз облучения в Российской Федерации и зарубежных странах. Данные отличия представлены в таблице 1.

В таблице 1 понятие «Зарубежные страны» включает в себя подавляющее большинство стран в соответствии

с заполненными анкетами для отчёта НКДАР ООН [35]. Наибольший интерес представляют критерии, которые по-разному применяются в России и за рубежом. Так, за счёт невычитания природной фоновой составляющей индивидуальной дозы и неприменения минимального уровня регистрации весь персонал группы А в России, в соответствии с зарубежным подходом, является «персоналом, подвергшимся измеримому воздействию», поэтому при сравнении значений доз более корректно использовать значения среднегодовых эффективных доз облучения именно «персонала, подвергшегося измеримому воздействию» других стран, которые представлены в 3-м столбце таблицы 2.

Как видно из представленных в таблице 2 данных, в зарубежных странах видна тенденция к снижению среднегодовых эффективных доз, в Российской Федерации средние значения держатся на одном уровне.

Отчёт НКДАР ООН [3], где указаны значения среднегодовых эффективных доз персонала, также подтверждает общемировую тенденцию к снижению доз. Если принять условие, что среднегодовая эффективная доза в промышленной радиологии, рассчитанная для периода времени с 2000 до 2014 г., представляет собой средние мировые значения (не все страны предоставили данные в итоговый отчёт), то предполагается, что среднегодовая эффективная доза снизилась с 2,6 мЗв (1975–1979 гг.) до 1,1 мЗв (2010–2014 гг.).

В Российской Федерации в этот период средние годовые значения доз не имеют чёткой тенденции и не превышают 2 мЗв в год (10% от среднегодового предела дозы). Особый интерес представляют данные по максимально зарегистрированным дозам. Практически все значения

Таблица 1

Различия в обработке первичной измерительной информации по дозам облучения персонала в Российской Федерации и зарубежных странах

[Table 1

Differences in the processing of primary measurement information on personnel exposure doses in the Russian Federation and foreign countries]

Критерий [Criterion]	Российская Федерация [Russian Federation]	Зарубежные страны [Foreign countries]
Предпочтительный способ дозиметрии – термoluminesцентная дозиметрия [The preferred method of dosimetry is thermoluminescent dosimetry]	+	+
Отнесение дефектоскопистов к группе персонала с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем [Assigning nondestructive testing operators to a group of personnel with mandatory individual dosimetric control]	+	+
Вычитание природной фоновой компоненты из показаний фоновых дозиметров [Subtraction of the natural background component from the readings of background dosimeters]	–	+
Применение фильтра в виде минимального уровня регистрации [3,11]* [Applying a filter in the form of a minimum registration level [3,11]*]	–	+
Разделение на персонал, подвергшийся измеримому воздействию, и весь контролируемый персонал [The division into measurably exposed workers and all monitored workers]	–	+

* Минимальный уровень регистрации (МУР) – это уровень, выше которого результат считается достаточно значимым для регистрации, а значения ниже игнорируются и записываются как ноль.

[*The minimum registration level (MRL) is the level above which a result is considered significant enough to be recorded, and values below are ignored and recorded as zero]

Средние годовые эффективные дозы облучения персонала по данным Европейской платформы профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform) [33] и [4-10]

Average annual effective exposure doses for personnel according to the European Platform for Occupational Radiation Exposure (ESOREX Platform) [33] and [4-10]

Год [Year]	Персонал, подвергшийся измеримому воздействию [Measurably exposed workers]	Средняя доза / персонал, подвергшийся измеримому воздействию (мЗв). ESOREX Platform* [Average dose / measurably exposed workers (mSv). ESOREX Platform*]	Средняя годовая эффективная доза (мЗв). Российская Федерация [Average annual effective dose (mSv). Russian Federation]
2015	28 628	1,15	1,87
2016	28 306	1,14	1,86
2017	16 408	0,88	1,90
2018	19 522	0,82	1,89
2019	18 236	0,79	1,70
2020	17 517	0,70	1,76
2021	12 740	0,82	1,71

* Представлены усреднённые значения годовых доз для 22 стран: Австрия, Бельгия, Болгария, Чехия, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Исландия, Ирландия, Литва, Люксембург, Норвегия, Польша, Румыния, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Нидерланды.
[* Average values of annual doses are presented for the 22 countries: Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Lithuania, Luxembourg, Norway, Poland, Romania, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Netherlands.]

превышают среднегодовой предел 20 мЗв, а в 2021 г. зарегистрировано значение дозы, равное 51 мЗв, превышающее абсолютный предел дозы 50 мЗв.

Необходимо обратить внимание, что в большинстве отчётных форм, включая данные ESOREX Platform и отчётов НКДАР ООН [3, 35], нет чёткого подразделения дефектоскопистов по используемым типам источников излучения. Однако если просмотреть публикации по дозам облучения в отдельных странах, можно найти существенные отличия в значениях доз дефектоскопистов при использовании рентгеновских и радионуклидных дефектоскопов. Так, в Греции средняя годовая эффективная доза на 1 обследуемого работника постепенно увеличивается с 1996 г. до 2000 г., достигая значения 4,05 мЗв, а затем резко снижается. Это увеличение в основном связано с увеличением годовой дозы контролируемых дефектоскопистов, использующих как рентгеновские, так и радионуклидные дефектоскопы. Для дефектоскопистов, использующих только рентгеновские дефектоскопы, средняя годовая эффективная доза достигает максимального значения 1,61 мЗв в 1998 г., а в 2003 г. снижается до 0,47 мЗв. С другой стороны, для дефектоскопистов, использующих оба типа источников, средняя доза увеличивается, достигая 4,11 мЗв в 2000 г., а затем постепенно снижается до 1,24 мЗв. Различия в значениях средних доз дефектоскопистов легко объясняются разными условиями труда: радионуклидная дефектоскопия обычно выполняется на месте, поэтому вся система, включая источник, транспортируется к месту проведения дефектоскопии, и оператор может подвергаться облучению в процессе переноски источника к месту облучения и наоборот. Это, несомненно, увеличивает риск непреднамеренного облучения рабочих [36].

Также необходимо понимать, что представленные данные по дозам облучения дефектоскопистов не учитывают условия труда (нет деления на дефектоскопию в стационарных условиях и в нестационарных условиях), а это грубо усредняет значения доз в пользу занижения значений для дефектоскопистов, работающих в нестационарных условиях. В отчётных формах Российской Федерации также нет подразделения дефектоскопистов на группы в зависимости от условий выполнения дефектоскопии: в стационарных или в нестационарных условиях.

Заключение

Таким образом, не существует единой системы контроля и учёта доз дефектоскопистов в Российской Федерации и в зарубежных странах. Деление на специальности и сферы деятельности также реализовано различно. При изучении научных отчётов НКДАР ООН [3, 35] мы не встретили отдельного представления доз персонала, осуществляющего дефектоскопию в стационарных и нестационарных условиях, хотя в самом тексте отчётов данное подразделение есть, как есть и предостережение, что дефектоскопия в нестационарных условиях является существенно более высокодозной в сравнении с дефектоскопией, выполняемой в стационарных условиях. В России также при анализе среднегодовых эффективных доз нет такого подразделения, что приводит к усреднению доз в сторону уменьшения значений для персонала, выполняющего дефектоскопию в нестационарных условиях. Таким образом, сравнение среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов внутри стран и между странами будет очень условным и не вполне корректным.

Проведение радиационного контроля требует дальнейшего изучения и проработки на практике. Так, для

персонала, проводящего дефектоскопию в стационарных условиях, достаточно использования одного индивидуального дозиметра, расположенного на поверхности тела в районе груди, чтобы по его показаниям с помощью соответствующего коэффициента перехода оценить значение эффективной дозы. Дозиметрия импульсных излучений требует разработки методик и создания новых средств измерения, способных измерять мощности доз импульсного излучения от современных дефектоскопов. При использовании переносных радионуклидных дефектоскопов создаются ситуации непреднамеренного облучения персонала при транспортировке дефектоскопов. При этом велика вероятность недооценки эффективной дозы по результатам ИДК, когда индивидуальный ТЛ-дозиметр размещается на груди работника. В данном случае целесообразно изменить методический подход в проведении ИДК и предложить использование 2 индивидуальных дозиметров, 1 из которых располагается на участке тела работника вблизи переносимого дефектоскопа, а второй на уровне груди. Однако для применения этого подхода необходимо провести серию натурных измерений.

Изучение сценариев и условий облучения дефектоскопистов при различных видах дефектоскопии представляет интерес, с точки зрения должного обеспечения радиационной безопасности, а также выработки обоснованных методических подходов в организации радиационного контроля данной сферы деятельности с дальнейшей апробацией их на практике.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Бажин С.Ю. осуществлял общее научное руководство исследованием, разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, провел поиск и анализ литературных данных, отредактировал и предоставил окончательный вариант рукописи для публикации в журнал.

Шлеенкова Е.Н. провела литературный поиск и выполнила сравнительный анализ нормативных документов, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Богатырёва В.Ю. провела литературный поиск и выполнила группировку литературных источников.

Информация о конфликте интересов

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

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н. и др. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 29-36. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36>.
2. Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н. и др. О необходимости проведения регулярного контроля доз облучения хрусталиков глаз у персонала, занятого на работах с использованием радиофармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 101-111. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111>.
3. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume IV. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly and Scientific Annex A. UNSCEAR 2020/2021 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2022.
4. Барковский А.Н., Барышков Н.К., Братилова А.А. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2015 году: информационный сборник. СПб., 2016. 72 с.
5. Барковский А.Н., Барышков Н.К., Братилова А.А. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник. СПб., 2017. 78 с.
6. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2017 году: информационный сборник. СПб., 2018. 72 с.
7. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году: информационный сборник. СПб., 2019. 72 с.
8. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году: информационный сборник. СПб., 2020. 70 с.
9. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году: информационный сборник. СПб., 2021. 83 с.
10. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году: Справочник. СПб., 2022. 72 с.
11. International Atomic Energy Agency-Tecdoc 1344. Categorization of radioactive sources, 2003.
12. Certification of industrial radiography operators in Norway. Tor Wöhni and Gunnar Saxebøl. Proceedings of the ETRAP2005 Conference. Brussels, 23-25 November 2005.
13. Мартынюк Ю.Н., Нурлыбаев К., Ревков А.А. Дозиметрия импульсного излучения // АНРИ. 2018. №1 (92). С. 2-11.
14. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.10.XI.3. United Nations, New York, 2010.
15. Palacios E. Radiography Accidents – Case Histories, IAEA ITC on Safety and Regulations of Radiation Sources, Argentine Atomic Energy Commission, 1990.
16. Официальный сайт Pinnacle X-Ray Solutions, Inc. URL: <https://pixl-us.com/understanding-resolution-and-x-ray/> (Дата обращения: 22.06.2023).
17. Официальный сайт Международного агентства по атомной энергии URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/industrial-radiography.pdf> (Дата обращения: 22.06.2023).
18. Oresegun M., Ortiz P., Webb G. Lessons learned from international compilations of accidents involving large radiation sources. Strahlenschutzpraxis. 1998. Vol. 4, No 94. P. 6-9.
19. Coeytaux K., Bey E., Christensen D. et al. Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A Systematic Review // PLoS ONE. 2015. Vol. 10, No 3. P. e0118709. doi:10.1371/journal.pone.0118709.
20. IAEA-International Atomic Energy Agency. Lessons learned from accidents in industrial radiography, Safety Report Series No. 7 (Vienna, IAEA, 1998).
21. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Gilan (Vienna: IAEA, 2002).
22. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Tammiku (Vienna: IAEA, 1998).
23. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Samut Prakarn (Vienna: IAEA, 2002).
24. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiania (Vienna: IAEA, 1988).
25. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in San Salvador (Vienna: IAEA, 1990).

26. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Yanango (Vienna: IAEA, 2000).
27. Annanalai M., Iyer P.S., Panicketer T.M.R. Radiation injury from acute exposure to an Iridium-192 source: case history // Health Physics. 1978. Vol. 35. P. 387–389.
28. Nakagawa K., Kozuka T., Akahane M. et al. Radiological findings of accidental radiation injury of the fingers: a case report // Health Physics. 2001. Vol. 80. P. 67–70.
29. Jalil A., RabMolla M.A. An overexposure in industrial radiography using an 192Ir radionuclide // Health Physics. 1989. Vol. 57. P. 117–119.
30. Jalil A., RabMolla M.A. Accidental overexposure to 192Ir source in industrial radiography: a follow-up study // Health Physics. 1992. Vol. 62. P. 74–76.
31. Jacobson A., Wilson B.M., Banks T.E., Scott R.M. 192Ir overexposure in industrial radiography // Health Physics. 1977. Vol. 32. P. 291–293.
32. Jaechan Park, Sanggil Lee, Chulyong Park, Huisu Eom. A case of azoospermia in a non-destructive testing worker exposed to radiation // Annals of Occupational and Environmental Medicine. 2017. P. 29:33.
33. Официальный сайт Европейской платформы профессионального радиационного облучения (ESOREX Platform). URL: https://esorex-platform.org/charts/g7?field_country_target_id=8427&field_occupation_tid=543 (Дата обращения 01.06.2023).
34. Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Кайдановский Г.Н., Ильин В.А. О возможности сравнения среднегодовых эффективных доз облучения медицинского персонала России и некоторых зарубежных стран // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 89-98. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98>.
35. Specific comments for time periods before 2003 are available in the electronic attachment "UNSCEAR_2008_Annex-B_Attach-2_Workers": URL: <https://www.unece.org/unscear/uploads/documents/publications/2008/Workers.xls> (Дата обращения 23.06.2023).
36. Economides S., Tritakis P., Papadomarkaki E. et al. Occupational exposure in Greek industrial radiography laboratories (1996–2003) // Radiation Protection Dosimetry. 2006. Vol. 118, No. 3, P. 260–264.

Поступила: 07.07.2023 г.

Бажин Степан Юрьевич – заведующий лабораторией радиационного контроля, 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: s.bazhin@niirg.ru

Шлеенкова Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля 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

Богатырёва Виктория Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля 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: Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Богатырёва В.Ю. Условия труда и значения среднегодовых эффективных доз дефектоскопистов в Российской Федерации и за рубежом // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 118-128. DOI: [10.21514/1998-426X-2023-16-3-118-128](https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-118-128)

Working conditions and values of average annual effective doses for nondestructive testing operators in the Russian Federation and abroad

Stepan Yu. Bazhin, Ekaterina N. Shleenkova, Victoria Yu. Bogatyreva

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 review presents description of the work and the main provisions on the working conditions for non-destructive testing operators from the standpoint of the system for ensuring radiation safety and radiation control. The values of the average annual effective doses of flaw detectorists in the Russian Federation and

Stepan Yu. Bazhin

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

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

abroad are indicated. Official sources of information on doses in the Russian Federation and in the world, obtained from the results of individual dosimetric monitoring, were selected for presentation. The data of our own measurements were not included in this review. The difference in the name of the specialty of the studied group of personnel in Russian and English and the difference in the processing of primary measuring information in domestic and foreign sources of information are taken into account. The relevance of the need to resolve the issues of radiation safety and radiation monitoring of personnel involved in nondestructive testing is demonstrated, due to the fact that in the Russian Federation there are regulatory and methodological documents affecting the organization and conduct of individual dosimetric monitoring of personnel in the medical field and the nuclear industry, but they do not include personnel conducting nondestructive testing. Therefore, individual dosimetric control for nondestructive testing operators is carried out by accredited laboratories in accordance with the provisions of Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff", i.e. without taking into account the exposure scenarios for personnel involved in nondestructive testing and the specifics of its work. The doses estimated in this way are included in the regional and federal databanks of personnel exposure doses. When entering dose values into data banks, there is no division of personnel into the personnel performing nondestructive testing in stationary and non-stationary conditions, therefore, the doses of personnel performing various types of nondestructive testing are averaged.

Key words: individual dosimetric control, radiograph, non-destructive testing, average annual effective dose.

Personal contribution of the authors

Bazhin S.Yu. carried out the general scientific management of the study, developed the design of the study, determined the goals and objectives, searched and analyzed literature data, edited and submitted the final version of the manuscript for publication in the journal.

Shleenkova E.N. conducted a literature search and performed a comparative analysis of normative documents, edited an intermediate version of the manuscript.

Bogatyeva V.Yu. conducted a literary search and grouped literary sources.

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

- Shleenkova EN, Golikov VYu, Kaidanovsky GN, Bazhin SYu, Ilyin VA. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29-36. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36>.
- Shleenkova EN, Bazhin SYu, Kaidanovsky GN, Chipiga LA, Ilyin VA. About the requirements of regular monitoring of doses for the eye lens of the staff working with radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3):101-111. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111>.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume IV. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly and Scientific Annex A. UNSCEAR 2020/2021 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2022.
- Barkovsky AN, Baryshkov NK, Bratilova AA, Kormanovskaya TA, Repin LV, Romanovich IK, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2015: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2016: 72 (In Russian).
- Barkovsky AN, Baryshkov NK, Bratilova AA, Bruk GYa, Vorobiev BF, Kormanovskaya TA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2016: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2017: 78 (In Russian).
- Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2017: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2018: 72 (In Russian).
- Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2018: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2019: 72 (In Russian).
- Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2019: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2020: 70 (In Russian).
- Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Doses for the population of the Russian Federation in 2020: information collection. Saint-Petersburg: NIIRG; 2021: 83 (In Russian).
- Barkovsky AN, Ruslan R. Akhmatdinov, Rustam R. Akhmatdinov, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2021: A Handbook. Saint-Petersburg: NIIRG; 2022: 72 (In Russian).
- International Atomic Energy Agency-Tecdoc 1344. Categorization of radioactive sources, 2003.
- Certification of industrial radiography operators in Norway. Tor Wøhni and Gunnar Saxebøl. Proceedings of the ETRAP2005 Conference. Brussels, 23-25 November 2005.
- Martynyuk YuN, Nurlybaev K, Revkov AA. Dosimetry of pulsed radiation. *ANRI = ANRI*. 2018;1(92): 2-11. (In Russian).
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.10.XI.3. United Nations, New York, 2010.
- Palacios E. Radiography Accidents – Case Histories, IAEA ITC on Safety and Regulations of Radiation Sources, Argentine Atomic Energy Commission, 1990.
- Official site of Pinnacle X-Ray Solutions, Inc. Available from: <https://pixl-us.com/understanding-resolution-and-x-ray/> (Accessed 22.06.2023).
- Official site of IAEA. Available from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/06/industrial-radiography.pdf> (Accessed 22.06.2023).
- Oresegun M., Ortiz P., Webb G. Lessons learned from international compilations of accidents involving large radiation sources. *Strahlenschutzpraxis*. 1998;4(94): 6-9.
- Coeytaux K, Bey E, Christensen D, Glassman ES, Murdock B, Doucet C. Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A systematic review.

- PLoS ONE*. 2015;10(3): e0118709. doi:10.1371/journal.pone.0118709.
20. IAEA-International Atomic Energy Agency. Lessons learned from accidents in industrial radiography, Safety Report Series No. 7 (Vienna, IAEA, 1998).
 21. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Gilan (Vienna: IAEA, 2002).
 22. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Tammiku (Vienna: IAEA, 1998).
 23. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Samut Prakarn (Vienna: IAEA, 2002).
 24. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Goiania (Vienna: IAEA, 1988).
 25. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in San Salvador (Vienna: IAEA, 1990).
 26. IAEA-International Atomic Energy Agency. The Radiological Accident in Yanango (Vienna: IAEA, 2000).
 27. Annanalai M, Iyer PS, Panicketer TMR. Radiation injury from acute exposure to an Iridium-192 source: case history. *Health Physics*. 1978;35: 387–389.
 28. Nakagawa K, Kozuka T, Akahane M, Suzuki G, Akash M, Hosoi Y, et al. Radiological findings of accidental radiation injury of the fingers: a case report. *Health Physics*. 2001;80: 67–70.
 29. Jalil A, RabMolla MA. An overexposure in industrial radiography using an 192Ir radionuclide. *Health Physics*. 1989;57: 117–119.
 30. Jalil A, RabMolla MA. Accidental overexposure to 192Ir source in industrial radiography: a follow-up study. *Health Physics*. 1992;62: 74–76.
 31. Jacobson A, Wilson BM, Banks TE, Scott RM. 192Ir overexposure in industrial radiography. *Health Physics*. 1977;32: 291–293.
 32. Park J, Lee S, Park C, Eom H. A case of azoospermia in a non-destructive testing worker exposed to radiation. *Ann Occup Environ Med*. 2017 Aug 10;29:33. doi: 10.1186/s40557-017-0190-z. PMID: 28815050; PMCID: PMC5556348.
 33. Official site of European Platform for Occupational Radiation Exposure. Available from: https://esorex-platform.org/charts/g7?field_country_target_id=8427&field_occupation_tid=543 (Accessed 01.06.2023).
 34. Bazhin SYu, Shleenkova EN, Kaidanovsky GN, Ilyin VA. Possibilities of comparing the average annual effective doses of medical personnel in Russia and some foreign countries. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 89-98. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98>.
 35. Specific comments for time periods before 2003 are available in the electronic attachment “UNSCEAR_2008_Annex-B_Attach-2_Workers”. Available on: <https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/2008/Workers.xls> (Accessed 23.06.2023).
 36. Economides S, Tritakis P, Papadomarkaki E, Carinou E, Hourdakis C, Kamenopoulou V et al. Occupational exposure in Greek industrial radiography laboratories (1996–2003). *Radiation Protection Dosimetry*. 2006;118(3): 260–264.

Received: July 07, 2023

For correspondence: Stepan Yu. Bazhin – Head of the Laboratory of Radiation Control, Senior 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 (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: s.bazhin@niirg.ru)

Ekaterina N. Shleenkova – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, 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

Victoria Yu. Bogatyreva – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, 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: Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Bogatyreva V.Yu. Working conditions and values of average annual effective doses for nondestructive testing operators in the Russian Federation and abroad. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 118-128. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-118-128