

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

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

ТОМ 15 № 3, 2022



**Научно-практический
журнал**

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

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

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

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

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

Издается ежеквартально.

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

Ссылка на журнал «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» обязательна.

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

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

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

Тираж 150 экз.

ISSN 1998-426X



9 771998 426783 >

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

© «Радиационная гигиена», 2022

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

RADIATIONNAYA GYGIENA

Председатель редакционного совета
Г.Г. Онищенко

Главный редактор
И.К. Романович



Том 15 № 3, 2022

Председатель редакционного совета

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

Ермолина Елена Павловна — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации; к.м.н., доцент (Москва, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Quarterly published

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

RADIATION HYGIENE

Chairman of Editorial Council

Gennadiy G. Onishchenko

Editor-in-Chief

Ivan K. Romanovich



Vol. 15 № 3, 2022

RADIATION HYGIENE

Vol. 15 № 3, 2022

Chairman of Editorial Council

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

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

Members of Editorial Council

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

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

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

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

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

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)

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

Elena P. Ermolina – Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Candidate of Medicine, Associate Professor (Moscow, Russian Federation)

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Том 15 № 3, 2022

ОБЗОРЫ

Попова А.Ю., Водоватов А.В., Романович И.К., Рыжов С.А., Друзинина П.С., Ахматдинов Руслан Р.
Влияние пандемии COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении в 2020 г. 6

Кормановская Т.А.
Сравнительный анализ российских и международных подходов к вопросам обеспечения радиационной безопасности при облучении природными источниками излучения 40

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Соколова А.Б., Ефимов А.В., Джунушалиев А.Б.
Анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным рекомендациям МКРЗ 50

Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А., Громов А.В., Титов Н.В.
Оценка годовой эффективной дозы внешнего облучения в лесах юго-западных районов Брянской области России: 2015–2021 гг. 58

Титов А.В., Шандала Н.К., Бельских Ю.С., Серегин В.А., Дороньева Т.А., Филонова А.А., Семенова М.П., Гуцина Ю.В., Павленко-Михайлов Ю.Н.
Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в долине Бамбакай (Забайкальский край) 72

Толстых Е.И., Дегтева М.О.
Оценка доз облучения лимфоцитов и их предшественников при пероральном поступлении стронция-89,90 82

ЕСКИД И РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

Рыжов С.А., Водоватов А.В., Солдатов И.В., Лантух З.А., Мухортова А.Н., Друзинина Ю.В., Друзинина П.С.
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 92

ПРЕОДОЛЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

Рожко А.В.
Опыт работы Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь по выполнению мероприятия Союзного государства по оказанию комплексной медицинской помощи населению, пострадавшему от катастрофы на ЧАЭС ... 110

Болдырева В.В., Овчарова В.Н.
Этапы радиационного мониторинга на территории Тульской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС 116

ИЗ ИСТОРИИ ГИГИЕНЫ

Архангельская Г.В.
Воспоминания об участии в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС 124

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» 128

CONTENTS

Vol. 15 № 3, 2022

REVIEWS

Popova A.Yu., Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Ryzhov S.A., Druzhinina P.S., Akhmatdinov Ruslan R.
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..... 37

Kormanovskaya T.A.
Comparative analysis of Russian and international approaches to radiation safety related to exposure to natural sources of radiation 48

RESEARCH ARTICLES

Sokolova A.B., Efimov A.V., Dzhunushaliev A.B.
Analysis of correspondence between the current individual monitoring system of internal exposure caused by plutonium intake and the relevant ICRP recommendations..... 56

Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Gromov A.V., Titov N.V.
Assessment of annual effective dose from external exposure in forests of the south-western districts of the Bryansk region of Russia: 2015–2021 69

Titov A.V., Shandala N.K., Belskikh Yu.S., Seregin V.A., Doronova T.A., Filonova A.A., Semenova M.P., Gushchina Yu.V., Pavlenko-Mikhaylov Yu.N.

Radiation situation in the territory of the uranium legacy site in the Bambakai Valley (Transbaikal Territory)..... 79

Tolstykh E.I., Degteva M.O.
Estimation of radiation doses on lymphocytes and their progenitors after ingestion of strontium-89,90 90

ISDCR AND RUSSIAN FEDERATION RADIATION-HYGIENE PASSPORTIZATION

Ryzhov S.A., Vodovatov A.V., Soldatov I.V., Lantukh Z.A., Mukhortova A.N., Druzhinina Yu.V., Druzhinina P.S.
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 107

NEGOTIATION OF THE CONSEQUENCES OF RADIATION ACCIDENTS

Rozhko A.V.
The experience of the Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology in the implementation of the Union State measure to provide comprehensive medical care to the population affected by the Chernobyl disaster 115

Boldyreva V.V., Ovcharova V.N.
Stages of radiation monitoring on the territory of the Tula region affected in consequence of the Chernobyl NPP accident..... 122

HISTORY OF HYGIENE

Arkhangelskaya G.V.
Memories of participation in the work to eliminate the consequences of the Chernobyl accident 127

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS..... 128

Влияние пандемии COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении в 2020 г.

А.Ю. Попова^{1,2}, А.В. Водоватов^{3,4}, И.К. Романович³, С.А. Рыжов^{5,6}, П.С. Дружинина³,
Руслан Р. Ахматдинов³

- ¹ Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия
- ² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия
- ³ 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
- ⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия
- ⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
- ⁶ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева Минздрава России, Москва, Россия

Компьютерная томография в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 стала основным методом ранней первичной диагностики COVID-19. По результатам компьютерной томографии органов грудной клетки возможно предположить диагноз вирусной пневмонии, вызванной COVID-19, быстро оценить объем поражения легочной ткани и степень тяжести изменений, проводить быструю маршрутизацию пациентов и начинать противовирусную терапию. Таким образом, 2020 г. охарактеризовался резким ростом числа компьютерных томографий на фоне изменения структуры лучевой диагностики. Целью данной работы являлась оценка степени влияния эпидемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации от медицинского облучения в период 2019–2020 гг. Для этого были проанализированы формы федеральной государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ и № 30, а также статистические данные о заболеваемости COVID-19 в субъектах Российской Федерации. Результаты исследования показали, что структура лучевой диагностики в 2020 г. существенно не изменилась по сравнению с 2019 г., за исключением роста числа выполненных компьютерных томографий, вклад которых в число рентгенорадиологических исследований вырос с 4,6% в 2019 г. до 8,2% в 2020 г. Вклад всех остальных методов лучевой диагностики в общее число рентгенорадиологических исследований значительно не менялся. В 2020 г. число всех рентгенологических исследований сократилось в среднем на 20%: от 6% для радионуклидной диагностики до 42% для интервенционных исследований. На фоне этого выделяется резкий рост числа компьютерно-томографических исследований на 60%. Структура коллективной дозы от медицинского облучения в 2020 г. значительно изменилась. Вклад компьютерной томографии в коллективную дозу в 2020 г. составил 74% (57% в 2019 г.) на фоне сокращения вклада всех остальных рентгенорадиологических исследований в 1,5–2 раза, в первую очередь рентгенографических (10,5% в 2020 г. по сравнению с 19% в 2019 г.). Коллективные дозы также снизились на 20–30% для всех видов лучевой диагностики, за исключением компьютерной томографии. Коллективная доза от компьютерной томографии выросла на 71% по сравнению с 2019 г. В целом, в Российской Федерации число всех диагностических рентгенорадиологических процедур сократилось на 12%: с 294 млн в 2019 г. до 258 млн в 2020 г. Коллективная доза от медицинского облучения в 2020 г. резко увеличилась на 30% до 115 тыс. чел.-Зв (в 2019 г. — 88 тыс. чел.-Зв). В среднем по субъектам Российской Федерации в 2020 г. каждая вторая компьютерная томография органов грудной клетки была выполнена в связи с COVID-19. При этом в среднем на 1 заболевшего COVID-19 приходилось 2,3 КТ органов грудной клетки.

Ключевые слова: компьютерная томография, COVID-19, новая коронавирусная инфекция, коллективная доза, лучевая диагностика.

Водоватов Александр Валерьевич

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

Введение

Новая коронавирусная инфекция (COVID-19) является инфекционным заболеванием, вызываемым вирусом SARS-CoV-2 [1]. Вопрос применения лучевых методов исследования для диагностики COVID-19 получил широкое обсуждение в медицинских кругах. Изначально в мире существовало несколько точек зрения: использование компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки как скрининга заболевания [2]; проведение КТ-исследования легких только в подтвержденных случаях COVID-19 [3]; применение для диагностики COVID-19 палатных рентгеновских аппаратов и даже магнитно-резонансной томографии [4, 5]. Данное обсуждение связано не только с необходимостью понимания диагностической ценности проводимых исследований, но и с наличием ресурсов системы здравоохранения и доступностью метода в конкретном регионе или стране, а также текущей эпидемиологической ситуацией.

Ввиду того, что надежность полимеразной цепной реакции (ПЦР-диагностики) не превышала 70%, во многих странах, включая Россию, было принято решение о введении понятия «клинически подтвержденного случая COVID-19», в котором объединяются симптоматика, наличие дыхательных нарушений и результаты КТ или рентгенографии органов грудной клетки (вне зависимости от результатов однократного лабораторного исследования на наличие рибонуклеиновой кислоты (РНК) SARS-CoV-2 методом ПЦР и эпидемиологического анамнеза) [6]. Помимо этого, методы лучевой диагностики применяют не только для выявления ассоциированных с коронавирусной инфекцией пневмоний, их осложнений, дифференциальной диагностики с другими заболеваниями легких, но и для определения степени выраженности и динамики изменений, оценки эффективности проводимой терапии [7]. Следует особо оговориться, что методы лучевой диагностики (рентгенография, КТ и ультразвуковая диагностика) не рекомендованы и не должны применяться в качестве скринингового метода диагностики коронавирусной инфекции.

Тем не менее, благодаря доступности, информативности в сравнении с рентгенографией, неинвазивности и высокой скорости проведения, КТ стала незаменимым методом ранней, первичной диагностики COVID-19. Одним из преимуществ широкого применения КТ является то, что, основываясь на данных КТ, клинических и анамнестических данных, можно проводить быструю маршрутизацию пациентов и своевременно начинать противовирусную терапию [7, 8]. Таким образом, следует предположить, что количество проводимых исследова-

ний прямо связано с текущей заболеваемостью COVID-19 и уровнем доступности КТ-исследований населению.

В 2020 г. ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно со специалистами Роспотребнадзора и Минздрава России была выполнена предварительная оценка изменения структуры и коллективной дозы от КТ-исследований в Российской Федерации, основанная на результатах оперативного анализа уровней облучения пациентов в отдельных субъектах Российской Федерации. По результатам работы были сделаны прогнозы по изменению коллективной дозы от КТ-исследований в период пандемии COVID-19 [9].

На текущий момент существует возможность провести детальный анализ изменений в структуре лучевой диагностики и уровней облучения населения Российской Федерации за счет диагностических рентгенорадиологических исследований, выполненных в 2020 г., основываясь на данных из форм государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ¹ системы ЕСКИД и № 30² Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Цель исследования – определить степень влияния эпидемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении.

Задачи исследования

1. Оценить изменение числа рентгенорадиологических исследований и коллективных доз при медицинском облучении в 2019–2020 гг. в отдельных субъектах Российской Федерации и в Российской Федерации в целом.
2. Охарактеризовать степень влияния эпидемии COVID-19 на дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении.

Материалы и методы

Исследование было основано на анализе данных региональных форм государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ системы ЕСКИД, полученных из федерального банка данных Единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева за период 2015–2020 гг. [10]. Данные были получены из 85 субъектов Российской Федерации.

Для анализа были выбраны основные виды рентгено-радиологических исследований в соответствии с классификацией, использованной в форме № 3-ДОЗ:

- флюорографические исследования (ФЛГ);
- рентгенографические исследования (РГ);
- рентгеноскопические исследования (РС);
- компьютерно-томографические исследования (КТ);

¹ Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 16.02.2007 г. № 0100/1659-07-26. [Filling of the Federal state statistical surveillance form No. 3- DOZ. Methodical recommendations the provision of the radiation safety. Approved by the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection on February 16, 2007, No. 0100 / 1659-07-26. (In Russ.)]

² Форма федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации» [Приказ Росстата: Об утверждении формы от 30.12.2020 г. № 863] [The Federal state statistical surveillance form N 30 "Information about the medical organization" (Order of the Federal State Statistics Service: On approval of the form dated December 30, 2020 No. 863) (In Russ.)]

- специальные (интервенционные исследования) (СИ);
- прочие исследования (ПР);
- радионуклидные исследования (РИ).

Для удобства обработки данных цифровые и аналоговые исследования были объединены в общие выборки для флюорографических и рентгенографических исследований.

Для оценки изменений в структуре лучевой диагностики и коллективной дозы населения Российской Федерации от медицинского облучения была использована следующая схема обработки данных [11]:

1. Определение числа процедур для каждого из видов рентгенорадиологических исследований в каждом из 85 субъектов Российской Федерации в 2019 и 2020 гг. как суммы процедур с расчетными (таблица 1100) и измеренными (2100) дозами облучения. Число флюорографических и рентгенографических исследований определяли как сумму пленочных и цифровых флюорографий (столбцов 3 и 4) или рентгенограмм (столбцов 5 и 6) таблиц 1100 и 2100 соответственно. Общее количество проведенных радионуклидных исследований определяли как значение, указанное в строке 10 столбце 6 таблицы 3000 «Количество проведенных радионуклидных исследований и полученные при этом эффективные дозы облучения пациентов» формы № 3-ДОЗ.

2. Определение коллективной дозы для каждого из видов рентгенорадиологических исследований в каждом из 85 субъектов Российской Федерации в 2019 и 2020 гг. как сумму коллективных доз, полученных на основании расчета (таблица 1000) и измерений (таблица 2000). Коллективную дозу для флюорографических и рентгенографических исследований определяли как сумму коллективных доз для пленочных и цифровых флюорографий (столбцов 3 и 4) или рентгенограмм (столбцов 5 и 6) таблиц 1000 и 2000 соответственно. Суммарную коллективную дозу при радионуклидных исследованиях определяли как значение, указанное в строке 10 столбце 10 таблицы 3000 «Количество проведенных радионуклидных исследований и полученные при этом эффективные дозы облучения пациентов» формы № 3-ДОЗ.

3. Расчет темпов прироста числа рентгенорадиологических исследований и коллективной дозы для каждого вида рентгенорадиологических исследований для каждого из 85 субъектов Российской Федерации за период 2019–2020 гг.

Для всей Российской Федерации число рентгенорадиологических процедур и коллективная доза для различных видов рентгенорадиологических процедур определялись как сумма соответствующих показателей для всех 85 субъектов Российской Федерации. Средние темпы прироста и изменения числа и коллективной дозы для различных рентгенорадиологических исследований определяли как среднее для выборок соответствующих показателей для 85 субъектов Российской Федерации [12–17].

При работе с выборками данных по темпам прироста в отдельных субъектах Российской Федерации проводили

верификацию данных с исключением anomalно высоких или низких значений (выбросов).

Сведения о количестве зарегистрированных случаев заболевания COVID-19 в 2020 г. были предоставлены Центральным аппаратом Роспотребнадзора по оперативным данным.

Дополнительные сведения о количестве компьютерных томографий органов грудной клетки, выполненных пациентам с диагнозом COVID-19, получили путём анализа таблицы 5113 «Компьютерная томография» региональных форм государственной статистической отчетности № 30 «Сведения о медицинской организации»³ за 2020 г. Для анализа структуры аппаратного парка для компьютерной томографии были использованы данные из таблицы 5117 «Аппараты и оборудование для лучевой диагностики» из формы № 30 за 2020 г.

Анализ данных осуществляли статистическими методами с использованием программного обеспечения Statistica 10.

Результаты

Сведения о числе рентгенорадиологических исследований и коллективной дозе от медицинского облучения для различных видов лучевой диагностики в абсолютных значениях за 2019–2020 гг. представлены в таблицах 1 и 2 соответственно. Результаты оценки темпов прироста числа и коллективной дозы для различных методов лучевой диагностики за период 2019–2020 гг. представлены в таблице 3. Данные о соотношении числа компьютерных томографий ОГК в различных формах государственной статистической отчетности, заболеваемости COVID-19 и количества действующих компьютерных томографов в регионах Российской Федерации в 2020 г. представлены в таблице 4.

Итоговая оценка изменений в структуре лучевой диагностики и коллективной дозы от медицинского облучения для всей Российской Федерации в целом за период 2019–2020 гг. представлена в таблицах 5 и 6 соответственно.

Обсуждение

Традиционными трендами в отечественной лучевой диагностике за последние 5 лет являлись рост современных высокодозовых исследований (компьютерной томографии, интервенционных исследований, гибридных методов радионуклидной диагностики) на фоне постепенного сокращения традиционных рентгенографических и рентгеноскопических исследований. Вклад флюорографических исследований (скрининговой рентгенографии органов грудной клетки с целью выявления туберкулеза) за последние 5 лет оставался практически неизменным. Данные тренды обуславливали соответствующие изменения в структуре коллективной дозы от медицинского облучения: снижение вклада традиционных методов лучевой диагностики (за счет сокращения их числа), значимое увеличение вклада компьютерной томографии [12, 13, 18–20].

³ Форма федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации» [Приказ Росстата: Об утверждении формы от 30.12.2020 г. № 863] [The Federal state statistical surveillance form N 30 "Information about the medical organization" (Order of the Federal State Statistics Service: On approval of the form dated December 30, 2020 No. 863) (In Russ.)]

Таблица 1
Число рентгенорадиологических исследований для различных видов лучевой диагностики для всех субъектов Российской Федерации в 2019 и 2020 гг.
[Table 1
The number of radiological examinations for different imaging modalities for all regions of the Russian Federation in 2019-2020]

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Республика Адыгея [Adygea Republic]	198,3	365,8	0,3	35,1	3,0	-	0,4	603,0	134,4	299,7	0,1	56,6	2,9	-	-	493,8
Республика Башкортостан [Bashkortostan Republic]	2 000,1	4 729,2	35,4	496,6	38,5	31,8	0,7	7 332,2	1 573,1	3 677,9	13,6	955,9	25,4	28,4	0,9	6 275,1
Республика Бурятия [Buryatia Republic]	690,1	1 005,7	6,6	104,2	10,2	3,4	-	1 820,1	584,0	991,6	2,4	126,9	11,8	3,3	-	1 720,0
Республика Алтай [Altai Republic]	136,8	245,9	-	8,7	-	-	-	391,4	120,5	250,4	0,3	14,9	0,0	-	-	386,1
Республика Дагестан [Dagestan Republic]	1 287,5	1 116,5	7,0	56,3	22,4	-	-	2 489,7	1 322,5	1 092,5	6,7	18,9	7,5	-	2,9	2 451,0
Республика Ингушетия [Ingushetia Republic]	200,0	281,8	-	21,8	-	-	-	503,7	107,0	218,7	-	43,5	-	-	-	369,3
Кабардино-Балкарская Республика [Kabardino-Balkarian Republic]	413,5	760,7	1,4	24,7	3,0	-	2,6	1 206,0	315,0	623,9	0,7	88,4	2,4	-	0,9	1 031,3
Республика Калмыкия [Kalmykia Republic]	129,7	252,7	-	23,1	1,5	-	-	407,0	76,5	186,9	-	47,9	0,6	-	-	311,9
Карачаево-Черкесская Республика [Karachay-Cherkess Republic]	163,1	300,4	2,0	22,0	-	-	-	487,4	123,7	305,6	1,3	87,1	-	-	-	517,5
Республика Карелия [Karelia Republic]	341,1	804,2	11,3	55,7	5,9	1,2	-	1 219,5	284,4	693,3	9,8	79,7	4,7	0,7	-	1 072,7
Республика Коми [Komi Republic]	559,0	1 410,3	12,0	126,3	1,1	-	4,4	2 113,1	489,8	1 286,2	9,2	122,3	1,0	-	3,5	1 912,1
Республика Марий Эл [Mari El Republic]	371,9	928,9	6,6	35,7	0,1	-	0,7	1 343,8	325,5	856,4	5,0	49,6	0,1	-	0,6	1 237,2
Республика Мордовия [Mordovia Republic]	469,8	810,7	5,3	123,0	6,2	1,0	1,0	1 416,9	373,3	655,0	4,5	189,0	8,5	0,7	0,3	1 231,2

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт.* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Республика Саха (Якутия) [Sakha Republic (Yakutia)]	643,5	1 063,8	7,1	139,3	11,8	2,7	0,2	1 868,4	527,2	790,2	6,5	198,1	11,1	1,3	0,1	1 534,5
Республика Северная Осетия – Алания [North Ossetia-Alania Republic]	446,9	666,0	16,5	30,2	-	-	-	1 159,6	254,3	480,9	12,1	97,8	1,3	-	-	846,5
Республика Татарстан [Tatarstan Republic]	1 955,2	5 173,7	21,9	356,7	44,1	20,6	-	7 572,2	1 780,6	4 410,8	13,3	646,3	35,0	15,9	-	6 901,7
Республика Тыва [Tuva Republic]	222,8	372,8	-	32,2	1,9	-	-	629,7	152,7	313,1	-	37,1	-	-	-	503,0
Удмуртская Республика [Udmurt Republic]	806,1	2 080,7	6,4	119,5	12,3	0,8	1,6	3 027,4	755,6	1 951,1	4,5	195,8	21,7	0,8	0,2	2 929,7
Республика Хакасия [Khakassia Republic]	280,0	712,3	5,1	38,9	2,1	-	8,0	1 046,4	184,6	550,1	3,3	63,7	1,7	-	4,3	807,8
Чеченская Республика [Chechen Republic]	358,7	732,6	-	22,7	-	-	2,7	1 116,7	217,1	502,1	-	29,4	-	-	-	748,6
Чувашская Республика [Chuvash Republic]	627,7	1 679,9	1,7	97,9	5,7	2,2	-	2 415,1	553,7	1 865,3	1,0	155,8	8,1	2,3	0,6	2 586,8
Алтайский край [Altai region]	1 861,4	3 291,9	21,5	134,7	24,9	12,9	2,7	5 350,0	1 442,9	2 533,6	11,1	222,7	14,0	14,9	-	4 239,3
Краснодарский край [Krasnodar region]	3 041,8	6 160,3	17,2	747,8	105,3	11,7	1,3	10 085,4	2 796,4	5 418,3	24,6	1 022,3	66,9	9,2	7,3	9 345,0
Красноярский край [Krasnoyarsk region]	1 948,1	3 320,1	52,8	227,3	106,8	5,5	16,3	5 677,0	2 143,8	3 259,7	39,8	311,6	72,2	4,5	4,0	5 835,5
Приморский край [Primorsky region]	975,8	2 222,2	5,4	144,7	0,7	2,1	1,6	3 352,5	822,5	2 117,2	4,7	218,3	7,4	-	9,6	3 179,8
Ставропольский край [Stavropol region]	1 731,8	2 891,3	16,0	216,9	22,3	6,0	-	4 884,3	1 527,3	2 654,5	18,1	244,4	19,7	7,5	-	4 471,4
Хабаровский край [Khabarovsk region]	735,7	1 783,3	11,4	148,2	42,9	7,2	4,2	2 733,0	618,8	1 514,2	7,5	251,7	34,7	7,7	5,9	2 440,5
Амурская область [Amur region]	615,2	1 254,2	10,5	96,5	3,5	7,8	-	1 987,7	612,3	907,5	2,9	180,1	3,0	5,4	0,2	1 711,2

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт.* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Архангельская область [Arhangelsk region]	519,3	1 757,0	19,9	69,0	32,3	2,4	3,6	2 403,5	447,0	1 413,0	12,1	88,2	26,3	1,8	3,4	1 991,9
Астраханская область [Astrakhan region]	721,6	1 432,3	23,0	90,3	0,1	3,8	-	2 271,2	462,3	1 007,5	6,5	131,5	1,2	3,0	-	1 612,1
Белгородская область [Belgorod region]	881,8	1 780,7	8,9	100,5	12,9	5,1	5,1	2 795,0	735,1	1 539,7	4,4	204,8	13,0	4,2	2,9	2 504,1
Брянская область [Bryansk region]	729,3	1 383,0	4,1	86,4	2,9	6,5	-	2 212,2	627,4	1 095,5	2,4	156,2	0,2	4,2	-	1 885,9
Владимирская область [Vladimir region]	531,5	1 641,7	10,7	51,5	12,7	1,5	-	2 249,6	436,7	1 421,9	8,0	87,1	11,7	1,6	-	1 967,0
Волгоградская область [Volgograd region]	1 623,7	3 304,4	30,0	183,7	29,8	6,6	-	5 178,3	1 261,1	2 946,8	19,9	334,6	23,5	6,6	1,0	4 593,4
Вологодская область [Vologodskaya region]	828,6	1 353,5	4,4	60,9	8,2	1,7	-	2 257,3	628,4	1 093,3	2,4	77,2	7,4	1,2	-	1 809,9
Воронежская область [Voronezh region]	1 434,5	2 902,3	30,3	217,6	37,1	8,5	0,5	4 630,7	898,6	1 618,7	12,6	238,9	11,8	6,8	-	2 787,4
Ивановская область [Ivanovo region]	765,0	1 553,4	31,4	65,4	5,4	4,0	5,0	2 429,5	674,3	1 247,4	19,9	132,5	1,6	1,3	8,3	2 085,3
Иркутская область [Irkutsk region]	1 767,9	4 239,6	37,5	299,9	15,3	3,3	4,0	6 367,5	1 645,5	3 598,2	29,9	384,1	16,1	2,6	3,0	5 679,5
Калининградская область [Kaliningrad region]	568,0	1 241,9	4,5	113,0	10,3	2,4	0,3	1 940,4	470,1	1 086,1	1,7	124,7	8,7	2,1	98,8	1 792,2
Калужская область [Kaluga region]	433,1	1 160,2	12,5	81,1	7,8	4,6	-	1 699,3	334,8	1 012,0	8,2	141,8	7,3	1,5	0,8	1 506,4
Камчатская область [Kamchatka region]	201,0	490,9	3,0	16,8	2,2	1,2	-	715,0	155,2	388,4	2,2	28,9	3,0	1,2	-	578,9
Кемеровская область [Kemerovo region]	1 701,6	4 081,9	41,3	190,2	81,1	4,5	3,1	6 103,7	1 495,8	3 982,8	20,6	248,1	45,3	4,5	1,7	5 798,9
Кировская область [Kirov region]	1 028,9	2 033,7	12,7	91,4	12,5	3,0	5,6	3 187,7	1 012,1	1 741,7	8,1	182,3	11,6	3,1	6,1	2 965,1
Костромская область [Kostroma region]	275,7	1 109,5	5,3	42,8	5,6	-	-	1 438,9	222,3	819,7	2,3	57,6	3,4	-	-	1 105,4
Курганская область [Kurgan region]	517,7	1 195,4	11,6	71,9	10,9	1,8	-	1 809,3	457,8	1 069,4	8,9	95,4	11,2	1,7	-	1 644,5

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт.* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Курская область [Kursk region]	476,5	1 273,6	27,0	60,2	8,2	4,0	-	1 849,5	401,6	938,9	15,5	92,7	4,7	7,1	-	1 460,5
Ленинградская область [Leningrad region]	958,9	1 570,3	4,2	133,2	4,1	-	0,2	2 670,8	792,8	1 318,1	1,7	216,3	5,9	-	0,2	2 334,9
Липецкая область [Lipetsk region]	887,9	1 644,9	5,6	84,4	10,7	8,7	3,8	2 645,9	696,5	1 395,9	3,2	145,2	8,3	10,5	-	2 259,6
Магаданская область [Magadan region]	79,9	305,8	4,3	28,6	1,5	0,1	-	420,2	72,8	239,3	2,1	40,1	1,0	0,8	-	356,1
Московская область [Moscow region]	3 011,9	10 008,9	68,6	560,0	38,2	15,9	9,8	13 713,4	2 727,1	9 492,1	56,5	1 362,0	79,8	28,8	10,0	13 756,4
Мурманская область [Murmansk region]	515,7	1 214,5	6,7	86,2	16,6	2,1	-	1 841,8	435,8	1 058,1	5,8	119,0	4,6	2,0	-	1 625,3
Нижегородская область [Nizhny Novgorod region]	1 738,7	3 808,3	47,4	226,9	11,1	1,7	-	5 834,2	1 314,6	2 779,4	19,2	254,5	8,8	2,9	-	4 379,5
Новгородская область [Novgorod region]	355,4	889,7	2,0	40,0	8,9	2,6	-	1 298,6	348,5	760,7	1,8	38,0	9,0	1,4	-	1 159,4
Новосибирская область [Novosibirsk region]	2 163,7	3 967,8	27,0	204,6	35,2	8,7	0,4	6 407,5	2 004,9	3 399,9	20,3	321,9	26,3	8,8	2,2	5 784,2
Омская область [Omsk region]	1 374,8	2 802,4	9,0	169,4	17,9	2,1	7,1	4 382,5	1 130,2	2 307,8	5,4	312,3	21,2	1,5	3,4	3 781,9
Оренбургская область [Orenburg region]	1 473,7	3 046,4	14,0	105,2	17,6	4,2	1,8	4 663,0	1 093,6	2 554,3	8,6	197,0	0,2	4,8	0,8	3 859,3
Орловская область [Orjol region]	393,9	823,7	9,7	41,2	3,7	6,3	0,5	1 279,0	330,5	717,3	3,5	47,0	3,7	6,6	-	1 108,6
Пензенская область [Penza region]	1 019,2	1 898,5	2,6	134,6	-	3,3	-	3 058,1	1 037,0	1 792,7	3,0	313,5	6,5	3,1	-	3 155,7
Пермский край [Perm region]	1 556,6	4 111,9	51,2	310,1	32,3	3,3	14,3	6 079,5	1 305,9	3 330,5	29,1	427,9	26,6	2,6	5,0	5 127,7
Псковская область [Pskov region]	268,8	846,6	9,9	41,2	30,0	2,6	1,0	1 199,9	216,3	693,4	6,6	43,5	21,7	2,0	0,8	984,2
Ростовская область [Rostov region]	1 980,5	4 382,3	17,2	294,2	56,1	10,6	0,3	6 741,0	1 643,5	3 672,1	10,1	370,9	33,5	11,3	-	5 741,5

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт.* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Рязанская область [Ryazan region]	699,5	1 290,7	16,3	107,5	7,7	0,7	5,1	2 127,5	545,7	1 090,4	9,6	199,3	8,5	1,0	3,4	1 857,8
Самарская область [Samara region]	2 323,4	4 193,0	48,1	275,8	18,0	17,4	12,0	6 887,7	2 170,1	3 704,4	29,7	440,6	14,8	19,8	7,2	6 386,5
Саратовская область [Saratov region]	2 313,0	3 538,8	53,7	127,5	19,1	8,5	-	6 060,6	2 205,5	3 157,1	36,1	188,5	13,0	6,1	-	5 606,3
Сахалинская область [Sakhalin region]	367,6	867,8	6,3	103,5	4,4	1,2	7,6	1 358,5	294,0	647,8	2,9	180,2	0,9	1,2	4,8	1 131,7
Свердловская область [Sverdlovsk region]	2 986,4	6 780,1	50,3	395,2	66,0	16,9	2,1	10 296,9	2 732,6	5 579,1	38,1	682,5	42,5	22,3	6,0	9 103,2
Смоленская область [Smolensk region]	502,0	1 109,9	22,0	51,9	-	4,0	0,2	1 690,0	389,6	911,7	6,5	125,1	1,1	2,8	0,1	1 436,8
Тамбовская область [Tambov region]	640,4	1 333,9	7,2	63,1	7,2	5,5	-	2 057,3	520,9	1 105,4	3,6	120,9	6,4	5,7	-	1 762,9
Тверская область [Tver region]	595,4	1 349,3	21,8	79,5	0,4	-	-	2 046,5	508,2	1 018,9	11,0	149,3	-	-	-	1 687,4
Томская область [Tomsk region]	557,7	1 835,5	5,3	198,3	24,3	10,4	0,2	2 631,8	433,3	1 668,1	3,8	235,6	10,8	9,8	0,1	2 361,6
Тульская область [Tula region]	642,2	2 063,6	11,0	148,7	9,2	4,1	-	2 878,8	550,3	1 759,6	7,1	195,1	11,9	3,1	-	2 527,1
Тюменская область [Tyumen region]	1 027,4	2 615,0	50,0	234,7	11,9	17,5	4,6	3 961,1	812,0	2 454,6	39,4	346,9	5,3	13,5	0,3	3 672,0
Ульяновская область [Ulyanovsk region]	600,7	1 416,5	6,6	162,8	7,5	3,4	-	2 197,5	571,1	1 277,3	12,8	198,0	4,7	2,4	-	2 066,4
Челябинская область [Chelyabinsk region]	1 995,8	4 861,8	38,2	234,4	56,8	24,1	14,9	7 225,9	1 903,6	4 048,4	22,3	451,2	48,9	20,6	2,8	6 497,8
Забайкальский край [Zabaykalsky region]	816,2	1 105,7	18,9	83,9	-	7,3	-	2 032,0	555,8	858,1	11,3	116,9	-	5,7	0,0	1 547,7
Ярославская область [Yaroslavl region]	607,1	1 677,4	5,0	85,3	6,2	2,9	-	2 383,9	529,8	1 533,6	3,1	149,2	5,3	2,8	1,9	2 225,8
Москва [Moscow]	7 744,2	18 693,3	221,8	2 035,0	889,2	122,3	-	29 705,9	5 376,6	14 644,3	134,8	3 113,9	237,0	119,9	-	23 626,5
Санкт-Петербург [St. Petersburg]	3 486,0	9 507,5	63,9	687,3	79,4	72,5	18,1	13 914,6	2 997,8	8 340,9	46,5	921,7	70,4	60,2	27,9	12 465,3

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Число исследований, тыс. шт.* [Number of examinations, thousands]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Region]	81,5	160,1	0,6	6,6	-	-	-	248,8	83,3	145,3	0,4	8,8	-	-	-	237,8
Республика Крым [Crimea Republic]	324,3	1 209,0	3,7	60,3	5,6	6,1	0,1	1 609,1	97,4	530,9	1,1	48,0	-	4,9	-	682,4
Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous region]	24,4	73,1	0,5	4,3	0,1	-	-	102,4	17,5	61,1	0,3	6,8	-	-	-	85,7
Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous region]	895,4	2 414,2	15,7	215,5	22,4	3,7	0,5	3 567,3	817,9	2 349,2	10,3	372,9	18,2	3,1	0,7	3 572,4
Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous region]	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8	87,2	0,0	3,3	-	-	-	110,2
Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous region]	373,3	562,3	1,4	56,1	-	-	-	993,1	386,5	514,2	1,2	68,5	0,02	-	-	970,4
Севастополь [Sevastopol]	105,1	418,6	0,9	41,0	0,1	-	3,2	568,9	112,1	434,2	1,9	55,7	0,1	-	2,7	606,6
Российская Федерация [the Russian Federation]	85705,9	190752	1548,1	13497,3	2290,9	582,5	183,4	294559,3	72367	161861,1	999,3	21150,4	1326,62	549,1	247,6	258501,5

* ФЛГ – флюорография; РГ – рентгенография; РС – рентгеноскопия; КТ – компьютерная томография; СИ – специальные (интервенционные) исследования; РИ – радионуклидные исследования; ПР – прочие исследования
[FG – fluorography; RG – radiography; RS – fluoroscopy; CT – computed tomography; IE – interventional examinations; RND – diagnostic nuclear medicine; OE – other]

Таблица 2
[Table 2]

Коллективная доза для различных видов лучевой диагностики для всех субъектов Российской Федерации в 2019 и 2020 гг.
Collective dose for different X-ray diagnostics types for all regions of the Russian Federation in 2019-2020]

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Республика Адыгея [Adygea Republic]	22,7	37,8	0,5	149,3	10,4	0,01	-	220,6	8,8	23,3	0,3	329,0	22,0	-	-	383,3
Республика Башкортостан [Bashkortostan Republic]	268,6	507,3	101,0	1 872,4	127,1	1,0	205,9	3 083,3	193,6	382,2	57,1	4 055,9	62,7	151,7	1,0	4 904,3
Республика Бурятия [Buryatia Republic]	31,9	139,7	14,2	285,5	130,6	-	6,4	608,4	19,3	59,5	7,3	315,8	54,1	6,6	-	462,6
Республика Алтай [Altai Republic]	8,3	20,9	-	37,8	-	-	-	66,9	8,4	21,1	2,8	79,5	0,1	-	-	111,8
Республика Дагестан [Dagestan Republic]	61,6	144,4	12,7	179,9	154,6	-	-	553,2	78,4	125,5	8,3	84,5	17,0	-	1,5	315,3
Республика Ингушетия [Ingushetia Republic]	10,0	46,1	-	104,9	-	-	-	161,1	5,4	26,1	-	244,2	-	-	-	275,7
Кабардино-Балкарская Республика [Kabardino-Balkarian Republic]	27,3	89,7	1,9	70,5	15,3	4,2	-	208,8	18,5	56,1	1,5	399,6	14,0	-	1,3	491,1
Республика Калмыкия [Kalmykia Republic]	6,9	18,4	-	106,4	8,5	-	-	140,4	3,8	11,0	-	274,3	3,0	-	-	292,0
Карачаево-Черкесская Республика [Karachay-Cherkess Republic]	10,4	29,2	2,9	29,3	-	-	-	71,7	13,5	25,8	2,2	365,0	-	-	-	406,5
Республика Карелия [Karelia Republic]	15,1	101,5	48,0	323,5	78,6	-	2,3	568,9	13,5	69,7	29,6	510,1	56,6	1,6	-	681,0
Республика Коми [Komi Republic]	29,7	102,0	39,6	469,7	10,3	44,2	-	695,6	26,9	70,0	36,3	528,5	7,9	-	8,4	678,0
Республика Марий Эл [Mari El Republic]	40,4	61,1	9,9	144,0	-	-	-	255,5	23,7	52,5	8,5	160,8	0,3	-	0,2	246,0
Республика Мордовия [Mordovia Republic]	18,2	76,9	14,5	398,3	10,1	-	0,0	518,1	16,8	53,9	18,8	806,5	19,3	1,4	-	916,7
Республика Саха (Якутия) [Sakha Republic (Yakutia)]	42,8	94,9	20,0	709,2	61,3	-	3,9	932,3	39,4	69,9	17,5	797,8	62,8	2,1	0,2	989,8

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Республика Северная Осетия – Алания [North Ossetia-Alania Republic]	99,0	77,4	30,6	126,1	-	-	-	333,0	71,3	59,4	23,7	570,0	7,6	-	-	732,0
Республика Татарстан [Tatarstan Republic]	101,1	305,9	30,7	1 632,8	202,3	-	25,4	2 298,3	81,3	227,3	22,9	2 655,4	177,6	16,3	-	3 180,9
Республика Тыва [Tuva Republic]	35,4	35,8	-	132,1	19,1	-	-	222,5	22,1	21,8	-	187,1	-	-	-	231,0
Удмуртская Республика [Udmurt Republic]	48,5	193,1	36,3	429,6	89,8	0,0	2,0	799,2	45,7	156,1	32,7	618,9	9,1	1,9	0,4	864,8
Республика Хакасия [Khakassia Republic]	16,5	59,2	14,1	159,1	2,7	2,1	-	253,5	12,0	42,3	8,6	203,0	1,6	-	1,8	269,3
Чеченская Республика [Chechen Republic]	41,5	101,6	-	100,1	-	2,9	-	246,2	22,6	69,4	-	136,1	-	-	-	228,2
Чувашская Республика [Chuvash Republic]	32,8	99,2	5,0	431,1	13,6	-	4,9	586,6	30,2	79,5	11,1	631,9	26,1	5,4	0,1	784,2
Алтайский край [Altai region]	107,9	375,7	62,4	609,5	108,3	2,6	30,7	1 297,0	80,8	255,6	30,2	1 094,5	77,0	40,5	-	1 578,7
Краснодарский край [Krasnodar region]	247,0	685,7	84,6	3 168,2	716,7	-	15,0	4 917,2	202,4	530,6	93,1	4 685,3	497,0	11,6	0,9	6 020,9
Красноярский край [Krasnoyarsk region]	102,8	308,8	222,1	575,5	1 189,3	0,8	16,3	2 415,5	108,2	285,5	167,5	1 155,0	1 088,7	16,0	0,6	2 821,5
Приморский край [Primorsky region]	54,2	175,8	5,7	372,0	1,8	0,2	32,3	641,9	43,3	138,3	3,8	696,9	6,0	-	1,4	889,8
Ставропольский край [Stavropol region]	103,2	302,3	47,5	847,9	99,5	-	80,2	1 480,5	101,0	296,2	53,6	779,6	74,2	121,9	-	1 426,6
Хабаровский край [Khabarovsk region]	36,2	134,1	47,8	526,8	53,2	93,0	44,5	935,5	28,2	95,0	32,0	1 171,8	52,1	85,9	8,7	1 473,8
Амурская область [Amur region]	28,6	130,2	33,9	355,0	18,3	-	5,7	571,7	30,9	90,7	10,4	889,5	4,8	4,2	-	1 030,5
Архангельская область [Arhangelsk region]	31,9	140,3	45,4	202,1	140,2	15,0	7,9	582,9	28,6	100,5	28,9	245,5	133,9	6,2	10,8	554,5
Астраханская область [Astrakhan region]	34,6	145,2	38,9	252,9	0,1	-	3,7	475,5	23,7	76,1	18,1	454,9	2,9	7,6	-	583,4

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Белгородская область [Belgorod region]	39,2	156,8	19,3	589,9	177,6	0,3	91,8	1 074,9	31,5	126,7	9,9	1 124,6	143,7	89,0	0,1	1 525,6
Брянская область [Bryansk region]	36,6	128,0	11,7	326,7	17,1	-	6,6	526,7	32,3	89,0	7,5	764,2	1,1	6,3	-	900,3
Владимирская область [Vladimir region]	21,5	154,0	50,7	132,2	99,5	-	4,3	462,1	18,5	115,9	26,7	313,0	106,3	4,6	-	585,0
Волгоградская область [Volgograd region]	175,7	343,0	81,5	564,0	80,3	-	18,4	1 263,0	138,5	269,5	58,9	1 416,8	98,8	18,8	0,9	2 002,2
Вологодская область [Vologodskaya region]	36,4	128,3	13,2	306,2	32,0	-	2,0	518,0	25,7	85,8	9,7	360,5	20,5	2,5	-	504,8
Воронежская область [Voronezh region]	87,4	303,1	70,3	626,2	179,9	-	52,8	1 319,6	37,5	141,1	16,4	696,4	30,5	35,2	-	957,2
Ивановская область [Ivanovo region]	57,2	137,4	57,7	191,4	31,0	0,1	3,4	478,2	49,0	94,1	40,2	444,1	5,8	1,7	24,0	659,0
Иркутская область [Irkutsk region]	79,5	382,4	110,7	1 294,9	71,2	1,1	6,9	1 946,7	80,2	276,3	113,6	1 984,2	92,1	5,8	-	2 552,2
Калининградская область [Kaliningrad region]	94,9	157,6	19,1	260,8	208,1	1,2	10,3	752,0	74,3	139,8	7,3	327,6	175,8	7,3	15,9	748,0
Калужская область [Kaluga region]	19,0	114,7	47,8	318,5	44,4	-	9,1	553,5	16,4	90,2	34,5	594,2	96,0	2,4	2,0	835,6
Камчатская область [Kamchatka region]	10,4	31,4	6,3	45,3	6,7	-	4,1	104,3	8,3	21,4	4,3	76,6	8,8	4,2	-	123,5
Кемеровская область [Kemerovo region]	80,9	475,1	109,1	565,9	155,2	4,9	10,1	1 401,2	61,4	323,8	72,1	843,1	78,1	10,1	2,5	1 391,0
Кировская область [Kirov region]	87,2	236,2	38,7	343,7	38,8	0,1	5,5	750,3	95,4	159,8	25,1	645,8	41,6	5,5	0,1	973,3
Костромская область [Kostroma region]	11,6	65,6	6,3	164,0	6,4	-	-	253,8	8,9	54,2	2,8	223,1	4,0	-	-	293,0
Курганская область [Kurgan region]	21,6	89,2	35,6	170,9	49,2	-	3,5	370,0	10,3	71,5	27,5	135,9	49,8	3,5	-	298,5
Курская область [Kursk region]	26,5	137,4	58,7	242,2	37,8	-	32,0	534,5	19,9	94,4	38,6	476,5	23,8	97,9	-	751,2
Ленинградская область [Leningrad region]	42,7	118,1	11,3	398,8	28,8	0,2	-	599,8	38,3	72,7	3,8	905,7	38,8	-	0,2	1 059,5

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Липецкая область [Lipetsk region]	46,5	154,0	7,3	235,4	61,5	0,03	79,1	583,9	38,6	123,2	3,8	657,8	43,0	101,7	-	968,1
Магаданская область [Magadan region]	3,5	28,9	7,0	91,9	8,2	-	0,9	140,4	3,9	17,2	3,5	107,8	5,9	2,7	-	141,1
Московская область [Moscow region]	168,9	891,7	133,7	2 317,2	153,9	21,8	77,7	3 765,0	140,9	670,1	98,2	5 427,8	158,7	160,2	15,5	6 671,4
Мурманская область [Murmansk region]	19,8	119,6	19,6	363,0	72,1	-	4,1	598,2	16,9	74,7	12,1	527,9	14,3	5,4	-	651,2
Нижегородская область [Nizhny Novgorod region]	106,0	403,7	101,5	847,0	51,8	-	0,0	1 509,9	80,5	247,4	44,7	1 105,7	35,3	0,0	-	1 513,6
Новгородская область [Novgorod region]	16,8	63,2	7,5	144,4	58,3	-	7,8	298,1	19,5	45,3	4,8	117,5	45,7	0,7	-	233,5
Новосибирская область [Novosibirsk region]	81,4	394,4	48,2	505,4	93,2	0,3	12,9	1 135,8	93,6	242,2	37,3	747,9	36,7	36,4	2,8	1 197,0
Омская область [Omsk region]	128,4	285,1	18,1	787,4	89,0	1,9	11,0	1 320,9	100,4	222,5	9,9	1 297,3	120,3	9,0	1,0	1 760,4
Оренбургская область [Orenburg region]	129,5	284,6	19,9	358,7	61,9	15,1	10,5	880,3	108,2	220,0	8,1	860,0	0,2	12,8	-	1 209,3
Орловская область [Orul region]	45,8	103,1	19,1	113,1	15,2	0,6	92,8	389,7	37,1	64,8	5,7	100,9	18,4	98,8	-	325,6
Пензенская область [Penza region]	47,8	178,2	17,1	460,6	-	-	7,8	711,4	47,1	141,3	3,4	1 113,9	7,2	8,2	-	1 321,0
Пермский край [Perm region]	109,0	232,4	134,7	664,9	126,2	10,7	11,5	1 289,3	66,0	144,6	59,9	884,5	77,9	10,8	10,0	1 253,7
Псковская область [Pskov region]	21,4	78,1	28,1	143,2	2,9	0,1	7,1	280,9	14,8	59,0	16,1	307,8	4,2	6,1	0,1	408,0
Ростовская область [Rostov region]	97,0	311,9	52,5	1 024,3	221,7	2,1	119,6	1 829,2	81,1	208,3	37,4	1 330,6	154,0	119,4	-	1 930,7
Рязанская область [Ryazan region]	45,6	114,4	33,4	363,7	68,7	12,4	2,6	640,8	39,5	93,5	25,8	946,4	87,1	3,1	14,9	1 210,4
Самарская область [Samara region]	102,4	241,2	113,2	1 252,6	130,8	0,6	179,0	2 019,6	94,1	205,3	73,9	2 165,5	109,1	224,9	27,9	2 900,8

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019							2020								
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Саратовская область [Saratov region]	187,3	370,0	138,6	533,1	50,1	-	17,6	1 296,6	160,0	283,0	84,5	853,4	52,3	12,7	-	1 445,9
Сахалинская область [Sakhalin region]	37,3	49,8	39,7	412,0	24,2	0,1	2,8	565,9	13,9	31,1	18,9	920,6	1,6	2,8	2,6	991,5
Свердловская область [Sverdlovsk region]	143,2	623,7	136,7	1 317,1	248,3	0,1	226,4	2 695,4	121,6	458,1	91,3	2 593,5	161,7	295,3	0,5	3 721,8
Смоленская область [Smolensk region]	40,6	93,9	40,1	187,5	-	0,1	1,6	363,8	32,1	75,4	13,7	486,0	6,5	1,7	-	615,5
Тамбовская область [Tambov region]	27,4	153,0	13,4	220,9	52,5	-	65,6	532,7	20,2	109,5	7,8	538,2	48,6	76,6	-	800,9
Тверская область [Tver region]	49,7	182,6	13,2	314,2	1,1	-	-	560,8	30,7	119,7	25,5	644,1	-	-	-	820,1
Томская область [Tomsk region]	26,8	115,3	15,1	505,1	30,2	-	23,2	715,7	19,5	89,3	12,8	606,3	26,4	34,3	0,1	788,6
Тульская область [Tula region]	31,3	185,3	30,9	536,1	35,4	-	12,8	831,8	27,2	147,9	20,0	886,1	50,7	11,4	-	1 143,4
Томенская область [Tuumen region]	47,2	236,8	130,9	865,8	59,7	6,2	44,9	1 391,6	33,6	146,8	86,8	1 375,0	27,2	43,3	-	1 712,8
Ульяновская область [Ulyanovsk region]	32,3	130,7	14,9	616,3	30,9	-	5,2	830,3	31,9	89,0	24,5	869,5	20,2	3,9	-	1 038,9
Челябинская область [Chelyabinsk region]	124,2	403,8	85,4	696,6	211,7	3,8	63,7	1 589,2	121,5	314,5	52,5	1 784,4	202,2	57,9	2,1	2 535,0
Забайкальский край [Zabaykalsky region]	55,0	147,4	75,1	340,2	-	-	17,4	635,0	36,7	81,6	18,1	528,4	-	6,3	-	671,1
Ярославская область [Yaroslavl region]	41,5	153,1	14,4	226,6	36,0	-	8,3	480,0	31,0	124,1	9,0	624,3	32,0	33,8	0,4	854,5
Москва [Moscow]	347,9	1 183,3	650,6	8 179,0	1 265,7	-	955,4	¹² 582,0	249,2	874,9	400,7	¹² 644,7	1 192,3	1 300,0	-	16 661,7
Санкт-Петербург [St. Petersburg]	186,5	523,0	140,8	2 675,4	609,3	9,1	242,9	4 387,0	144,5	362,9	111,4	3 882,5	500,8	186,9	6,7	5 195,7

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	Коллективная доза, чел. -Зв* [Collective dose, man. -Sv]															
	2019						2020						Всего [Total]			
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]		СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Region]	4,3	19,0	1,6	24,5	-	-	-	49,4	4,7	13,8	1,0	30,6	-	-	-	50,1
Республика Крым [Crimea Republic]	58,0	97,8	8,2	222,6	11,9	0,2	1,7	400,4	25,0	36,7	0,5	172,8	-	4,4	-	239,4
Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous region]	1,4	2,7	1,5	16,9	0,2	-	-	22,7	1,1	2,3	0,9	42,9	-	-	-	47,2
Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous region]	33,6	139,6	29,4	594,2	175,9	0,2	21,4	994,3	36,5	107,9	25,7	951,1	112,5	18,6	0,1	1 252,4
Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous region]	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	3,8	0,2	17,4	-	-	-	22,6
Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous region]	20,1	54,0	0,7	198,0	-	-	-	272,8	19,0	37,6	0,4	333,6	-	-	-	390,6
Севастополь [Sevastopol]	9,4	28,9	9,2	125,6	-	28,7	-	201,8	5,7	19,2	13,8	201,7	-	-	14,8	255,2
Российская Федерация [the Russian Federation]	5318,2	16676,7	4069,5	49823,6	8584,2	288,04	3083,2	87843	4297,8	12105,6	2690,3	85145,6	6846,9	3665,8	182,5	114934,8

* ФЛГ – флюорография; РГ – рентгенография; РС – рентгеноскопия; КТ – компьютерная томография; СИ – специальные (интервенционные) исследования; РИ – радионуклидные исследования; ПР – прочие исследования
[FG – fluorography; RG – radiography; RS – fluoroscopy; CT – computed tomography; IE – interventional examinations; RND – diagnostic nuclear medicine; OE – other]

Таблица 3
Изменения в числе рентгенорадиологических исследований и коллективной дозе от различных рентгенорадиологических исследований для всех субъектов
Российской Федерации за период 2019–2020 гг.
[Table 3
Changes in the number of examinations and the collective dose from different X-ray examinations for all regions of the Russian Federation in 2019–2020]

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. * % изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г. [Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %] [Increase in collective dose by modality in 2020, %]															
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	
Республика Адыгея [Adygea Republic]	-32	-18	-51	+61	-2	-	-100	-18	-61	-38	-46	+120	+112	-	-100	+74

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. *											% изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г.			
	[Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %]											[Increase in collective dose by modality in 2020, %]			
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]
Республика Башкортостан [Bashkortostan Republic]	-21	-22	-62	+93	-34	-11	+33	-14	-28	-44	+117	-51	-26	-	+59
Республика Бурятия [Buryatia Republic]	-15	-1	-64	+22	+15	-4	-	-6	-40	-49	+11	-59	+3	-	-24
Республика Алтай [Altai Republic]	-12	+2	-	+71	-	-	-	-1	+1	-	+111	-	-	-	+67
Республика Дагестан [Dagestan Republic]	+3	-2	-5	-66	-66	-	-	-2	+27	-35	-53	-89	-	-	-43
Республика Ингушетия [Ingushetia Republic]	-47	-22	-	+100	-	-	-	-27	-47	-	+133	-	-	-	+71
Кабардино-Балкарская Республика [Kabardino-Balkarian Republic]	-24	-18	-49	+258	-20	-	-65	-15	-32	-17	+467	-8	-	-68	+135
Республика Калмыкия [Kalmykia Republic]	-41	-26	-	+107	-60	-	-	-23	-45	-100	+158	-65	-	-	+108
Караево-Черкесская Республика [Karachay-Cherkess Republic]	-24	+2	-37	+296	-	-	-	+6	+30	-23	-	-	-	-	+467
Республика Карелия [Karelia Republic]	-17	-14	-13	+43	-20	-39	-	-12	-11	-31	+58	-28	-29	-	+20
Республика Коми [Komi Republic]	-12	-9	-23	-3	-10	-	-19	-10	-9	-8	+13	-24	-	-81	-3
Республика Марий Эл [Mari El Republic]	-13	-8	-25	+39	-35	-	-8	-8	-41	-15	+12	-	-	-	-4
Республика Мордовия [Mordovia Republic]	-21	-19	-15	+54	+37	-35	-71	-13	-8	+30	+103	+90	-	-43	+77
Республика Саха (Якутия) [Sakha Republic (Yakutia)]	-18	-26	-9	+42	-6	-51	-56	-18	-8	-13	+12	+2	-45	+494	+6
Республика Северная Осетия – Алания [North Ossetia-Alania Republic]	-43	-28	-26	+224	-	-	-	-27	-28	-23	+352	-	-	-	+120
Республика Татарстан [Tatarstan Republic]	-9	-15	-39	+81	-21	-23	-	-9	-20	-25	+63	-12	-36	-	+38
Республика Тыва [Tuva Republic]	-32	-16	-	+15	-100	-	-	-20	-38	-	+42	-100	-	-	+4
Удмуртская Республика [Udmurt Republic]	-6	-6	-29	+64	+77	-1	-89	-3	-6	-10	+44	-90	-1	-	+8

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. *														% изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г.			
	[Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %]														[Increase in collective dose by modality in 2020, %]			
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]		
Республика Хакасия [Khakassia Republic]	-34	-23	-35	+64	-19	-	-46	-23	-27	-28	-39	+28	-40	-	-10	+6		
Чеченская Республика [Chechen Republic]	-40	-32	-	+30	-	-	-100	-33	-46	-32	-	+36	-	-	-100	-7		
Чувашская Республика [Chuvash Republic]	-12	+11	-39	+59	+43	+4	-	+7	-8	-20	+122	+47	+92	+9	-	+34		
Алтайский край [Altai region]	-23	-23	-48	+65	-44	+15	-100	-21	-25	-32	-52	+80	-29	+32	-100	+22		
Краснодарский край [Krasnodar region]	-8	-12	+43	+37	-37	-22	+463	-7	-18	-23	+10	+48	-31	-23	-	+22		
Красноярский край [Krasnoyarsk region]	+10	-2	-25	+37	-32	-17	-76	+3	+5	-8	-25	+101	-8	-1	-16	+17		
Приморский край [Primorsky region]	-16	-5	-12	+51	-	-100	+499	-5	-20	-21	-33	+87	+244	-100	-	+39		
Ставропольский край [Stavropol region]	-12	-8	+13	+13	-12	+24	-	-9	-2	-2	+13	-8	-25	+52	-	-4		
Хабаровский край [Khabarovsk region]	-16	-15	-34	+70	-19	+7	+39	-11	-22	-29	-33	+122	-2	+93	-91	+58		
Амурская область [Amur region]	-1	-28	-73	+87	-15	-31	-	-14	+8	-30	-69	+151	-74	-26	-	+80		
Архангельская область [Arhangelsk region]	-14	-20	-39	+28	-19	-23	-6	-17	-11	-28	-36	+21	-5	-21	-28	-5		
Астраханская область [Astrakhan region]	-36	-30	-72	+46	-	-20	-	-29	-32	-48	-53	+80	-	+103	-	+23		
Белгородская область [Belgorod region]	-17	-14	-50	+104	+1	-18	-44	-10	-19	-19	-49	+91	-19	-3	-59	+42		
Брянская область [Bryansk region]	-14	-21	-41	+81	-92	-36	-	-15	-12	-30	-36	+134	-94	-5	-	+71		
Владимирская область [Vladimir region]	-18	-13	-25	+69	-8	+3	-	-13	-14	-25	-47	+137	+7	+8	-	+27		
Волгоградская область [Volgograd region]	-22	-11	-34	+82	-21	-1	-	-11	-21	-21	-28	+151	+23	+2	-	+59		
Вологодская область [Vologodskaya region]	-24	-19	-45	+27	-10	-28	-	-20	-29	-33	-26	+18	-36	+30	-	-3		

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. *														% изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г.				
	[Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %]														[Increase in collective dose by modality in 2020, %]				
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]			
Воронежская область [Voronezh region]	-37	-44	-59	+10	-68	-20	-100	-40	-57	-77	+11	-83	-33	-100	-27				
Ивановская область [Ivanovo region]	-12	-20	-37	+103	-71	-68	+66	-14	-14	-30	+132	-81	-50	-	+38				
Иркутская область [Irkutsk region]	-7	-15	-20	+28	+5	-21	-26	-11	+1	+3	+53	+29	-17	-96	+31				
Калнинградская область [Kaliningrad region]	-17	-13	-62	+10	-16	-13	-	-8	-22	-62	+26	-16	-29	-	-1				
Калужская область [Kaluga region]	-23	-13	-34	+75	-6	-68	-	-11	-14	-28	+87	+116	-74	-	+51				
Камчатская область [Kamchatka region]	-23	-21	-25	+72	+37	-3	-	-19	-20	-32	+69	+30	+3	-	+18				
Кемеровская область [Kemerovo region]	-12	-2	-50	+30	-44	+1	-44	-5	-24	-34	+49	-50	-1	-49	-1				
Кировская область [Kirov region]	-2	-14	-36	+100	-7	+3	+9	-7	+9	-35	+88	+7	+0	+21	+30				
Костромская область [Kostroma region]	-19	-26	-56	+35	-39	-	-	-23	-23	-56	+36	-37	-	-	+15				
Курганская область [Kurgan region]	-12	-11	-23	+33	+3	-3	-	-9	-52	-23	-20	+1	-1	-	-19				
Курская область [Kursk region]	-16	-26	-43	+54	-43	+78	-	-21	-25	-34	+97	-37	+206	-	+41				
Ленинградская область [Leningrad region]	-17	-16	-59	+62	+43	-	-19	-13	-10	-66	+127	+35	-	+8	+77				
Липецкая область [Lipetsk region]	-22	-15	-43	+72	-22	+21	-100	-15	-17	-48	+179	-30	+29	-100	+66				
Магаданская область [Magadan region]	-9	-22	-51	+40	-35	-	-	-15	+11	-50	+17	-28	-	-	+1				
Московская область [Moscow region]	-10	-5	-18	+143	+109	+81	+2	+0	-17	-27	+134	+3	+106	-29	+77				
Мурманская область [Murmansk region]	-16	-13	-14	+38	-72	-4	-	-12	-15	-38	+45	-80	+31	-	+9				
Нижегородская область [Nizhny Novgorod region]	-24	-27	-59	+12	-21	+71	-	-25	-24	-56	+31	-32	-29	-	+0				

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. *											% изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г.				
	[Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %]											[Increase in collective dose by modality in 2020, %]				
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]
Новгородская область [Novgorod region]	-2	-15	-11	-5	+2	-47	-	-11	+16	-28	-36	-19	-22	-91	-	-22
Новосибирская область [Novosibirsk region]	-7	-14	-25	+57	-25	+1	+451	-10	+15	-39	-22	+48	-61	+182	-	+5
Омская область [Omsk region]	-18	-18	-40	+84	+19	-30	-52	-14	-22	-22	-45	+65	+35	-18	-46	+33
Оренбургская область [Orenburg region]	-26	-16	-39	+87	-99	+15	-56	-17	-17	-23	-59	+140	-100	+21	-100	+37
Орловская область [Orul region]	-16	-13	-64	+14	+0	+4	-100	-13	-19	-37	-70	-11	+21	+6	-100	-16
Пензенская область [Penza region]	+2	-6	+17	+133	+0	-7	-	+3	-1	-21	-80	+142	-	+5	-	+86
Пермский край [Perm region]	-16	-19	-43	+38	-18	-20	-65	-16	-39	-38	-56	+33	-38	-6	-6	-3
Псковская область [Pskov region]	-20	-18	-33	+6	-28	-24	-20	-18	-31	-24	-43	+115	+41	-14	-19	+45
Ростовская область [Rostov region]	-17	-16	-41	+26	-40	+6	-100	-15	-16	-33	-29	+30	-31	-0	-100	+6
Рязанская область [Ryazan region]	-22	-16	-41	+85	+10	+37	-33	-13	-13	-18	-23	+160	+27	+20	+21	+89
Самарская область [Samara region]	-7	-12	-38	+60	-18	+14	-40	-7	-8	-15	-35	+73	-17	+26	-	+44
Саратовская область [Saratov region]	-5	-11	-33	+48	-32	-28	-	-8	-15	-24	-39	+60	+4	-28	-	+12
Сахалинская область [Sakhalin region]	-20	-25	-54	+74	-80	-1	-37	-17	-63	-38	-52	+123	-93	-2	-	+75
Свердловская область [Sverdlovsk region]	-9	-18	-24	+73	-36	+32	+186	-12	-15	-27	-33	+97	-35	+30	+228	+38
Смоленская область [Smolensk region]	-22	-18	-71	+141	+0	-31	-43	-15	-21	-20	-66	+159	-	+1	-57	+69
Тамбовская область [Tambov region]	-19	-17	-49	+92	-11	+3	-	-14	-26	-28	-42	+144	-7	+17	-	+50
Тверская область [Tver region]	-15	-25	-50	+88	-100	-	-	-18	-38	-34	+93	+105	-100	-	-	+46

Субъект РФ [Region of the Russian Federation]	% изменения числа РРИ по видам исследований в 2020 г. * [Increase in the number of X-ray examinations by modality in 2020, %]														% изменения коллективной дозы по видам исследований в 2020 г. [Increase in collective dose by modality in 2020, %]			
	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]	ФЛГ [FLG]	РГ [RG]	РС [FS]	КТ [CT]	СИ [IE]	РИ [RND]	ПР [OE]	Всего [Total]		
Томская область [Tomsk region]	-22	-9	-28	+19	-56	-6	-53	-10	-27	-23	-15	+20	-13	+48	-	+10		
Тульская область [Tula region]	-14	-15	-35	+31	+29	-25	-	-12	-13	-20	-35	+65	+43	-10	-	+37		
Туменская область [Tumen region]	-21	-6	-21	+48	-56	-23	-93	-7	-29	-38	-34	+59	-54	-4	-99	+23		
Ульяновская область [Ulyanovsk region]	-5	-10	+95	+22	-37	-28	-	-6	-1	-32	+65	+41	-35	-24	-	+25		
Челябинская область [Chelyabinsk region]	-5	-17	-42	+93	-14	-15	-81	-10	-2	-22	-39	+156	-5	-9	-45	+60		
Забайкальский край [Zabaykalsky region]	-32	-22	-40	+39	-	-22	-	-24	-33	-45	-76	+55	-100	-64	-	+6		
Ярославская область [Yaroslavl region]	-13	-9	-38	+75	-15	-4	-	-7	-25	-19	-37	+175	-11	+305	-	+78		
Москва [Moscow]	-31	-22	-39	+53	-73	-2	-	-21	-28	-26	-38	+55	-6	+36	-	+32		
Санкт-Петербург [St. Petersburg]	-14	-12	-27	+34	-11	-17	+54	-10	-23	-31	-21	+45	-18	-23	-27	+18		
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Region]	+2	-9	-42	+34	-	-	-	-4	+8	-27	-38	+25	-	-	-	+1		
Республика Крым [Crimea Republic]	-70	-56	-71	-20	-100	-19	-100	-58	-57	-63	-94	-22	-100	+157	-100	-40		
Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous region]	-28	-17	-32	+57	-100	-	-	-16	-20	-16	-42	+154	-100	-	-	+107		
Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous region]	-9	-3	-35	+73	-19	-15	+46	+0	+9	-23	-13	+60	-36	-13	-36	+26		
Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous region]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous region]	+4	-9	-17	+22	-	-	-	-2	-6	-30	-39	+68	+20	-	-100	+43		
Севастополь [Sevastopol]	+7	+4	+110	+36	-41	-	-17	+7	-39	-34	+50	+61	+9	-	-49	+26		
Среднее по Российской Федерации [Average in the Russian Federation]	-16	-15	-35	+57	-42	-6	35	-12	-19	-27	-34	+71	-20	+19	-36	+31		

* ФЛГ – флюорография; РГ – рентгенография; РС – рентгенокопия; КТ – компьютерная томография; СИ – специальные (интервенционные) исследования; РИ – радионуклидные исследования; ПР – прочие исследования
[FG – fluorography; RG – radiography; RS – radiography; RG – fluoroscopy; CT – computed tomography; IE – interventional examinations; RND – diagnostic nuclear medicine; OE – other]

Соотношение компьютерных томографий органов грудной клетки, заболеваемости COVID-19 и числа действующих компьютерных томографов в различных регионах Российской Федерации в 2020 г.

Таблица 4

The ratio of computed tomography of chest, the incidence of COVID-19 and the number of operating computed tomographs in different regions of the Russian Federation in 2020

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК при COVID-19 в общем числе КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT-scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating computed tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ-аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 computed tomograph]
Республика Адыгея [Adygea Republic]	33 553	74%	10 906	3,1	10	3355
Республика Башкортостан [Bashkortostan Republic]	235 538	54%	19 234	12,2	57	4132
Республика Бурятия [Buryatia Republic]	26 614	49%	26 091	1,0	8	3327
Республика Алтай [Altai Republic]	8 175	78%	13 972	0,6	4	2044
Республика Дагестан [Dagestan Republic]	68 746	53%	23 781	2,9	27	2546
Республика Ингушетия [Ingushetia Republic]	20 730	61%	12 302	1,7	5	4146
Кабардино-Балкарская Республика [Kabardino-Balkarian Republic]	44 884	91%	15 799	2,8	9	4987
Республика Калмыкия [Kalmykia Republic]	23 010	65%	14 592	1,6	7	3287
Карачаево-Черкесская Республика [Karachay-Cherkess Republic]	41 687	72%	15 302	2,7	13	3207
Республика Карелия [Karelia Republic]	18 842	42%	28 283	0,7	19	992
Республика Коми [Komi Republic]	53 973	64%	30 856	1,7	16	3373
Республика Марий Эл [Mari El Republic]	2 175	15%	9 234	0,2	7	311
Республика Мордовия [Mordovia Republic]	91 712	72%	13 666	6,7	17	5395
Республика Саха (Якутия) [Sakha Republic (Yakutia)]	71 603	57%	23 808	3,0	22	3255

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК всего по данным формы № 30, шт. [Total number of chest CT-scans from form N30, exam.]	Вклад КТОГК при COVID-19 в общее число КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT-scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating computed tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ-аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 computed tomograph]
Республика Северная Осетия – Алания [North Ossetia-Alania Republic]	60 941	77 933	78%	12 185	5,0	12	5078
Республика Татарстан [Tatarstan Republic]	164 914	266 632	62%	13 460	12,3	31	5320
Республика Тыва [Tuva Republic]	19 178	32 560	59%	14 804	1,3	8	2397
Удмуртская Республика [Udmurt Republic]	32 833	68 564	48%	20 073	1,6	20	1642
Республика Хакасия [Khakassia Republic]	23 721	34 138	69%	17 795	1,3	30	791
Чеченская Республика [Chechen Republic]	67 902	78 539	86%	8 783	7,7	17	3994
Чувашская Республика [Chuvash Republic]	84 592	109 038	78%	16 488	5,1	20	4230
Алтайский край [Altai region]	86 391	114 313	76%	33 334	2,6	34	2541
Краснодарский край [Krasnodar region]	204 757	410 929	50%	28 108	7,3	83	2467
Красноярский край [Krasnoyarsk region]	79 596	142 706	56%	46 833	1,7	37	2151
Приморский край [Primorsky region]	43 636	78 715	55%	29 758	1,5	32	1364
Ставропольский край [Stavropol region]	34 857	64 133	54%	35 325	1,0	29	1202
Хабаровский край [Khabarovsk region]	51 621	93 100	55%	35 756	1,4	28	1844
Амурская область [Amur region]	70 365	101 279	69%	15 337	4,6	16	4398
Архангельская область [Arhangelsk region]	25 616	47 673	54%	44 020	0,6	15	1708
Астраханская область [Astrakhan region]	25 960	48 340	54%	19 361	1,3	12	2163

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК всего по данным формы № 30, шт. [Total number of chest CT-scans from form N30, exam.]	Вклад КТОГК при COVID-19 в общее число КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT-scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating computed tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ-аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 computed tomograph]
Белгородская область [Belgorod region]	47 604	79 917	60%	22 201	2,1	19	2505
Брянская область [Bryansk region]	82 303	104 187	79%	23 539	3,5	18	4572
Владимирская область [Vladimir region]	21 953	34 175	64%	16 376	1,3	18	1220
Волгоградская область [Volgograd region]	102 906	166 316	62%	35 774	2,9	33	3118
Вологодская область [Vologodskaya region]	13 013	29 462	44%	24 078	0,5	17	765
Воронежская область [Voronezh region]	92 393	127 900	72%	46 589	2,0	28	3300
Ивановская область [Ivanovo region]	19 699	29 247	67%	21 444	0,9	10	1970
Иркутская область [Irkutsk region]	64 574	134 956	48%	39 737	1,6	38	1699
Калининградская область [Kaliningrad region]	6 118	13 139	47%	18 221	0,3	11	556
Калужская область [Kaluga region]	36 391	67 475	54%	21 148	1,7	15	2426
Камчатская область [Kamchatka region]	12 018	15 581	77%	10 176	1,2	5	2404
Кемеровская область [Kemerovo region]	30 886	80 416	38%	26 024	1,2	26	1188
Кировская область [Kirov region]	64 948	95 708	68%	23 994	2,7	27	2405
Костромская область [Kostroma region]	3 167	14 945	21%	15 102	0,2	8	396
Курганская область [Kurgan region]	19 388	37 458	52%	12 208	1,6	12	1616

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT- scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК всего по данным формы № 30, шт. [Total number of chest CT-scans from form N30, exam.]	Вклад КТОГК при COVID-19 в общее число КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT- scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating com- puted tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ- аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 com- puted tomograph]
Курская область [Kursk region]	23 973	43 276	55%	21 154	1,1	17	1410
Ленинградская область [Leningrad region]	47 523	108 324	44%	24 279	2,0	30	1584
Липецкая область [Lipetsk region]	41 952	74 831	56%	16 357	2,6	16	2622
Магаданская область [Magadan region]	8 125	17 527	46%	7 085	1,1	5	1625
Московская область [Moscow region]	473 722	618 368	77%	156 898	3,0	77	6152
Мурманская область [Murmansk region]	23 107	41 265	56%	35 546	0,7	17	1359
Нижегородская область [Nizhny Novgorod region]	125 208	178 174	70%	70 820	1,8	48	2609
Новгородская область [Novgorod region]	3534	13 633	26%	18 730	0,2	8	442
Новосибирская область [Novosibirsk region]	21 067	92 989	23%	28 037	0,8	15	1404
Омская область [Omsk region]	99 439	136 419	73%	30 368	3,3	179	556
Оренбургская область [Orenburg region]	43 098	124 625	35%	29 107	1,5	39	1105
Орловская область [Orjol region]	1 383	26 417	5%	21 544	0,1	10	138
Пензенская область [Penza region]	129 479	168 404	77%	25 648	5,0	24	5395
Пермский край [Perm region]	84 255	146 425	58%	31 279	2,7	29	2905
Псковская область [Pskov region]	22 707	37 099	61%	23 686	1,0	13	1747
Ростовская область [Rostov region]	0	151 803	0%	49 844		49	

Продолжение таблицы 4

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК всего по данным формы № 30, шт. [Total number of chest CT-scans from form N30, exam.]	Вклад КТОГК при COVID-19 в общее число КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT-scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating computed tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ-аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 computed tomograph]
Рязанская область [Ryazan region]	55 860	88 753	63%	17 761	3,1	18	3103
Самарская область [Samara region]	152 277	217 986	70%	31 704	4,8	43	3541
Саратовская область [Saratov region]	46 254	75 012	62%	33 179	1,4	33	1402
Сахалинская область [Sakhalin region]	51 027	112 037	46%	16 028	3,2	24	2126
Свердловская область [Sverdlovsk region]	218 089	296 375	74%	59 389	3,7	56	3894
Смоленская область [Smolensk region]	26 607	52 253	51%	17 215	1,5	17	1565
Тамбовская область [Tambov region]	34 039	66 055	52%	17 810	1,9	13	2618
Тверская область [Tver region]	55 665	77 176	72%	22 503	2,5	21	2651
Томская область [Tomsk region]	14 816	50 026	30%	24 763	0,6	14	1058
Тульская область [Tula region]	51 197	79 076	65%	23 056	2,2	23	2226
Тюменская область [Tyumen region]	88 475	156 837	56%	23 678	3,7	29	3051
Ульяновская область [Ulyanovsk region]	27 478	70 384	39%	36 862	0,7	19	1446
Челябинская область [Chelyabinsk region]	185 208	242 280	76%	26 310	7,0	39	4749
Забайкальский край [Zabaykalsky region]	23 210	45 075	51%	27 720	0,8	57	407
Ярославская область [Yaroslavl region]	23 451	49 917	47%	22 483	1,0	20	1173
Москва [Moscow]	859 950	1 409 505	61%	845 676	1,0	276	3116

Регион [Region]	Число КТОГК при COVID-19 по данным формы № 30, шт. [Number of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics from form N30, exam.]	Число КТОГК всего по данным формы № 30, шт. [Total number of chest CT-scans from form N30, exam.]	Вклад КТОГК при COVID-19 в общее число КТОГК, % [Contribution of chest CT-scans for COVID-19 diagnostics to the total number of chest CT-scans]	Число заболевших COVID-19 в 2020 г. [Number of people with COVID-19 in 2020]	Число КТ на 1 заболевшего [Number of CT-scans per 1 sick person]	Действующие КТ в 2020 г. по форме №30 [Operating computed tomographs in 2020 according to form N30]	Число исследований КТ ОГК при COVID-19 на 1 КТ-аппарат [Number of chest CT-scans with COVID-19 per 1 computed tomograph]
Санкт-Петербург [St. Petersburg]	145 199	342 034	42%	245 870	0,6	83	1749
Еврейская автономная область [Jewish Autonomous Region]	1047	3 199	33%	3 780	0,3	4	262
Республика Крым [Crimea Republic]	12 840	39 064	33%	25 527	0,5	20	642
Ненецкий автономный округ [Nenets Autonomous region]	575	2629	22%	703	0,8	1	575
Ханты-Мансийский автономный округ [Khanty-Mansi Autonomous region]	122 414	178 101	69%	41 740	2,9	45	2720
Чукотский автономный округ [Chukotka Autonomous region]	94	495	19%	539	0,2	2	47
Ямало-Ненецкий автономный округ [Yamalo-Nenets Autonomous region]	19 778	38 977	51%	32 441	0,6	10	1978
Севастополь [Sevastopol]	8 187	16966	48%	-	-	7	1170
Среднее по Российской Федерации [Average in the Russian Federation]	-	-	55%	-	2,3	-	2335

Таблица 5
[Table 5]

**Изменения в структуре лучевой диагностики в Российской Федерации в 2019–2020 гг.
Changes in the structure of X-ray diagnostics in the Russian Federation in 2019–2020]**

Вид лучевой диагностики [X-ray diagnostics type]	Год [Year]		Вклад вида лучевой диагностики в число исследований, тыс. шт. [Contribution of imaging modality to the total number of X-ray examinations]
	2019	2020	
Флюорография [Fluorography]	85706	72367	29,1%
Рентгенография [Radiography]	190752	161861	64,8%
Интервенционные исследования [Interventional examinations]	2291	1327	0,8%
Радионуклидная диагностика [Nuclear medicine]	583	549	0,2%
Прочие [Other]	183	247	0,1%
Всего [Total]	294559	258502	100,0%

Таблица 6
[Table 6]

**Изменения в структуре коллективной дозы от медицинского облучения в Российской Федерации в 2019–2020 гг.
Changes in the structure of the collective dose from medical exposure in the Russian Federation in 2019–2020]**

Вид лучевой диагностики [X-ray diagnostics type]	Год [Year]		Вклад вида лучевой диагностики в коллективную дозу [Contribution of imaging modality to the collec- tive dose]
	2019	2020	
Флюорография [Fluorography]	5318	4298	6,1%
Рентгенография [Radiography]	16 677	12 106	19,0%
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]	4069	2690	4,6%

Вид лучевой диагностики [X-ray diagnostics type]	Год [Year]		Вклад вида лучевой диагностики в коллективную дозу [Contribution of imaging modality to the collective dose]
	2019	2020	
	Коллективная доза, чел.-Зв [Collective dose, person-Sv]	Коллективная доза, чел.-Зв [Collective dose, person-Sv]	
Радионуклидная диагностика [Nuclear medicine]	3083	3666	3,2%
Прочие [Other]	288	183	0,2%
Всего [Total]	87843	114935	100,0%

Анализ данных по количеству выполненных различных рентгенорадиологических исследований в отдельных субъектах Российской Федерации и в Российской Федерации в целом (см. табл. 5) позволяет сделать вывод о том, что структура лучевой диагностики в 2020 г. достоверно не изменилась по сравнению с 2019 г. Обращает на себя внимание только увеличение в 1,5 раза числа выполненных КТ, вклад которых в число рентгенорадиологических исследований вырос с 4,6% в 2019 г. до 8,2% в 2020 г. соответственно. Вклад всех остальных методов лучевой диагностики в общее число рентгенорадиологических исследований значительно не изменялся. Вклад современных высокоинформативных высокодозовых методов исследования (кроме КТ) в общее число рентгенорадиологических исследований составляет меньше 1% (интервенционные исследования – 0,5%; радионуклидная диагностика – 0,2%) как в 2019 г., так и в 2020 г.

В 2020 г. число всех рентгенологических исследований сократилось в среднем на 20%: от 6% для радионуклидной диагностики до 42% для интервенционных исследований. На фоне этого выделяется резкий рост числа КТ-исследований на 60%. Таким образом, за 2020 г. было выполнено на 7,5 млн КТ-исследований больше, чем годом ранее. Однако в случае исключения КТ-исследований из анализа структура лучевой диагностики осталась прежней с точностью до 0,34%.

В свою очередь, структура коллективной дозы от медицинского облучения в 2020 г. изменилась значительно. Вклад компьютерной томографии в коллективную дозу в 2020 г. составил 74% (57% в 2019 г.) на фоне сокращения вклада всех остальных рентгенорадиологических исследований в 1,5–2 раза, в первую очередь, рентгенографических (10,5% в 2020 г. по сравнению с 19% в 2019 г.). Следует отметить радионуклидную диагностику, вклад которой в коллективную дозу значительно не изменился (3,2% в 2020 г., 3,5% в 2019 г.).

В 2020 г. коллективные дозы также снизились на 20–30% для всех видов лучевой диагностики, за исключением компьютерной томографии. Коллективная доза от КТ выросла на 70% по сравнению с 2019 г.

В целом, в Российской Федерации число всех диагностических рентгенорадиологических процедур впервые за последнее десятилетие [12] сократилось на 12%: с 294 млн в 2019 г. до 258 млн в 2020 г. Напротив, коллективная доза медицинского облучения населения Российской Федерации в 2020 г. резко увеличилась на 30% до 115 тыс. чел.-Зв (в 2019 г. – 88 тыс. чел.-Зв.).

Все представленные изменения могут быть объяснены следующими факторами:

- преимущественным использованием КТ для ранней (первичной) диагностики COVID-19 и для оценки эффективности проводимого лечения;
- переводом ряда медицинских организаций исключительно под лечение больных с COVID-19;
- закрытием отдельных медицинских организаций или отделений на карантин в связи с COVID-19;
- сокращением объемов плановой медицинской помощи, в том числе и процедур лучевой диагностики;
- резким увеличением с середины 2020 г. числа действующих КТ.

Максимальное количество КТ в 2020 г. было выполнено в следующих субъектах Российской Федерации:

Москва (3114 тыс. шт.), Московская область (1362 тыс. шт.), Краснодарский край (1022 тыс. шт.), Республика Башкортостан (956 тыс. шт.), Санкт-Петербург (922 тыс. шт.), Свердловская область (683 тыс. шт.), Республика Татарстан (646 тыс. шт.). Минимальное количество КТ в 2020 г. было выполнено в Чукотском автономном округе (3,3 тыс. шт.), Ненецком автономном округе (6,8 тыс. шт.), Еврейской автономной области (8,8 тыс. шт.) и Республике Алтай (14,9 тыс. шт.). В этих же регионах были отмечены максимальные и минимальные коллективные дозы от КТ-исследований и медицинского облучения в целом соответственно.

В то же время максимальный прирост числа КТ и соответствующих коллективных доз был зафиксирован в других субъектах Российской Федерации: Кабардино-Балкарской Республике (рост на 467% в 2020 г. по сравнению с 2019 г.), Республике Северная Осетия – Алания (352%), Липецкой области (180%), Ярославской области (175%), Рязанской области (160%), Смоленской области (160%), Республике Калмыкия (158%), Челябинской области (156%), Ненецком автономном округе (155%) и Волгоградской области (151%). Это объясняется ограниченностью аппаратного парка для компьютерной томографии в допандемийный период в данных регионах и резким значимым увеличением числа компьютерных томографов в 2020 г. В ряде регионов (Республике Дагестан, Республике Крым, Новгородской области и Республике Коми) число выполненных компьютерных томографий даже снизилось в 2020 г. по сравнению с 2019 г. вплоть до 1,5 раз.

Результаты анализа формы № 30, представленные в таблице 4, позволяют сделать вывод о вкладе числа компьютерных томографий органов грудной клетки, выполненных в связи с диагностикой COVID-19, в общее число компьютерных томографий органов грудной клетки. В среднем по всем субъектам Российской Федерации данный вклад составляет около 55%. В ряде регионов данный показатель превышает 70%: Кабардино-Балкарская Республика (91%), Чеченская Республика (86%), Брянская область (79%), Республика Алтай (78%), Республика Северная Осетия – Алания (78%), Чувашская Республика – Чувашия (78%), Камчатский край (77%), Московская область (77%), Пензенская область (77%), Алтайский край (76%). Наименьший вклад (менее 30%) наблюдался в Орловской области (5%), Республике Марий Эл (15%), Чукотском автономном округе (19%), Костромской области (21%), Ненецком автономном округе (22%), Новосибирской области (23%), Новгородской области (26%) и Томской области (30%). Следует отметить, что форма № 30 содержит данные только по государственным медицинским организациям, подведомственным Министерству здравоохранения; различия во вкладе компьютерных томографий, выполненных при COVID-19, в общее число компьютерных томографий органов грудной клетки могут быть объяснены выполнением таких исследований в частных центрах компьютерной томографии или в медицинских организациях иного ведомственного подчинения.

Отдельный интерес представляет анализ соотношения числа компьютерных томографий органов грудной клетки и заболеваемости COVID-19 в субъектах Российской Федерации. Как следует из таблицы 4, максимальное число компьютерных томографий органов грудной клетки

на 1 заболевшего наблюдалось в Республике Татарстан (12,3), Республике Башкортостан (12,2), Чеченской Республике (7,7), Краснодарском крае (7,3), Челябинской области (7), Республике Мордовия (6,7), Чувашской Республике – Чувашии (5,1), Пензенской области (5), Республике Северная Осетия – Алания (5) и Самарской области (4,8). Средний показатель по всем субъектам Российской Федерации – 2,3 компьютерных томографии на 1 заболевшего. В ряде субъектов Российской Федерации, в том числе в Санкт-Петербурге, на 1 заболевшего приходилось менее 1 компьютерной томографии органов грудной клетки.

Данная оценка является достаточно грубой в связи с тем, что отсутствует достоверная информация по госпитализированным в медицинские организации с подтвержденным диагнозом «Новая коронавирусная инфекция». Доступна только статистическая информация по заболевшим, т.е. не обязательно госпитализированным и/или получившим 1 или несколько компьютерных томографий органов грудной клетки.

Аномально высокие показатели числа компьютерных томографий органов грудной клетки на 1 заболевшего COVID-19 в ряде регионов могут быть связаны в первую очередь с особенностями учета числа заболевших COVID-19 в данных регионах. Также методы компьютерной томографии в этих регионах могли использоваться в качестве альтернативы методов лабораторной диагностики для выявления заболевших COVID-19 в 2020 г. К сожалению, детальная информация о структуре заболеваемости и госпитализаций в связи с COVID-19 по субъектам Российской Федерации недоступна. В предыдущих работах авторов [21, 22], посвященных оценке структуры КТ-исследований в отдельных медицинских организациях в период пандемии COVID-19, было установлено, что в среднем на 1 пациента приходилось 2–2,5 КТ органов грудной клетки, что хорошо соотносится с среднероссийским результатом.

Также были проанализированы данные о загрузке компьютерных томографов (числе компьютерных томографий органов грудной клетки, выполненных на 1 действующем компьютерном томографе) в 2020 г. Максимальная загрузка наблюдалась в Московской области (6152 исследования на 1 томограф за год), Республике Мордовия (5395), Пензенской области (5395), Республике Татарстан (5320), Республике Северная Осетия – Алания (5078), Кабардино-Балкарской Республике (4987), Челябинской области (4749), Брянской области (4572), Амурской области (4398) и Чувашской Республике – Чувашии (4230), среднее по Российской Федерации – 2335 исследований на 1 томограф за год. Следует отметить, что данные показатели получены по результатам анализа формы № 30 и соответствуют государственным медицинским организациям без учета их реального участия в процессе диагностики COVID-19. Для сравнения, в медицинских организациях г. Москвы, осуществлявших маршрутизацию пациентов с COVID-19 в 2020 г. [23], на 1 компьютерный томограф приходилось в среднем 10,5 тыс. исследований.

Выводы

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Структура лучевой диагностики в 2020 г. существенно не изменилась по сравнению с 2019 г., за исключением

роста в 1,5 раза числа выполненных компьютерных томографий, вклад которых в число рентгенорадиологических исследований вырос с 4,6% в 2019 г. до 8,2% в 2020 г. Вклад всех остальных методов лучевой диагностики в общее число рентгенорадиологических исследований значительно не менялся. В 2020 г. число всех рентгенологических исследований сократилось в среднем на 20%: от 6% для радионуклидной диагностики до 42% для интервенционных исследований. На фоне этого выделяется резкий рост числа КТ-исследований на 60%.

2. Структура коллективной дозы от медицинского облучения в 2020 г. изменилась значительно. Вклад компьютерной томографии в коллективную дозу в 2020 г. составил 74% (57% в 2019 г.) на фоне сокращения вклада всех остальных рентгенорадиологических исследований в 1,5–2 раза, в первую очередь, рентгенографических (10,5% в 2020 г. по сравнению с 19% в 2019 г.). Следует отметить радионуклидную диагностику, вклад которой в коллективную дозу значительно не изменился (3,2% в 2020 г., 3,5% в 2019 г.). В 2020 г. коллективные дозы также снизились на 20–30% для всех видов лучевой диагностики, за исключением компьютерной томографии. Коллективная доза от компьютерной томографии выросла на 70% по сравнению с 2019 г.

3. В целом, в Российской Федерации число всех диагностических рентгенорадиологических процедур сократилось на 12%: с 294 млн в 2019 г. до 258 млн в 2020 г. Коллективная доза от медицинского облучения в 2020 г. резко увеличилась на 30% до 115 тыс. чел.-Зв (в 2019 г. – 88 тыс. чел.-Зв.).

4. В среднем по субъектам Российской Федерации в 2020 г. каждая вторая компьютерная томография органов грудной клетки была выполнена в связи с COVID-19. При этом в среднем на 1 заболевшего COVID-19 приходилось 2,3 КТ органов грудной клетки.

5. Имеющиеся на текущий момент данные позволяют описать изменение структуры лучевой диагностики, ассоциированные с пандемией COVID-19, но их недостаточно для объяснения установленных трендов, в частности, взаимосвязи между заболеваемостью COVID-19, загрузкой аппаратного парка, числом выполненных исследований и соответствующими коллективными дозами. Дальнейшие работы авторов будут направлены на решение данных проблем.

Личный вклад авторов

А.Ю. Попова – научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез.

А.В. Водоватов – разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных, обработка полученных результатов, написание текста.

И.К. Романович – разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, систематизация и финальное редактирование статьи.

С.А. Рыжов – сбор и анализ данных, обработка полученных результатов.

П.С. Дружинина – сбор и анализ данных, обработка полученных результатов, оформление статьи для представления в редакцию журнала.

Р.Р. Ахматдинов – подготовка и экспорт данных из федерального банка данных ФБД 3-ДОЗ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Публикация не имела финансовой поддержки.

Литература

1. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (Дата обращения: 17.07.2020).
2. Zhao W., Zhong Z., Xie X., Yu Q., Liu J. Relation between chest CT findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *American journal of radiology* 2020; 214: 1072-1077. URL: <https://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.20.23288> (Дата обращения: 20.07.2020).
3. Erturk SM. CT is not a screening tool for corona-virus disease (COVID-19) pneumonia. (letter) *American journal of radiology* 2020; 215. URL: <https://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.20.23288> (Дата обращения: 20.07.2020).
4. Препринт Л 87. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): магнитно-резонансная томография: препринт № ЦДТ – 2020 – III. Версия от 12.05.2020 / сост. Васильев Ю.А, Бажин А.В., Масри А.Г., и др. // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. Вып. 67. 24 с. https://tele-med.ai/media/documents/luchevaya_diagnostika_covid19_MRI.pdf.
5. Цориев А.Э., Мешков А.В., Гилолаев Д.А., и др. Применение МРТ легких при COVID-19 инфекции // Лучевая диагностика и терапия. 2020. Т. 11, № 2. С. 49-57. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-49-57>.
6. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия от 22.02.2022). 2022. 245 с. https://static0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/059/392/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V15.pdf.
7. Interim guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of a new coronavirus infection (covid-19) Version 7 (06.03.2020) Ministry of Health of the Russian Federation https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/050/584/original/03062020_%D0%9CR_COVID-19_v7.pdf.
8. Methodological recommendations, algorithms for the actions of medical staff at various stages of the provision of care, checklists and standard documents developed for the period of the presence and threat of further spread of a new coronavirus infection in St. Petersburg. Version 2.0 from 10.06.2020 https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/CQVID-19_Ver.2.0_10.06.pdf.
9. Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Istorik O.A., 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>.
10. Официальный сайт Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева. URL: <http://niirg.ru/> (Дата обращения: 28.07.2022).
11. Vodovatov A., Romanovich I., Ryzhov S., et al. Assessment of the changes in structure of X-ray diagnostics and collective dose from CT examinations related to Covid-19 in the Russian Federation in 2020//*Medical physics in the Baltic states. Proceedings of the 15th International Conference on Medical Physics*. 2021. Vol. 15. 18p.
12. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики

- и дозы медицинского облучения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 6-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>.
13. 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>.
 14. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2020. 63 с.
 15. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2020 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 66 с.
 16. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году: информационный сборник. СПб, 2020. 70 с.
 17. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году: информационный сборник. СПб, 2021. 80 с.
 18. 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.
 19. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015 // Journal of Radiological Protection. 2018. Vol. 38, No 1. P. 121-139.
 20. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине, Том 1. Лучевая диагностика / под ред. проф. Балонova М.И. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2019. Т.1. 320 с.
 21. Druzhinina P.S., Vodovатов A.V., Chipiga L.A., et al. "Assessment of changes in the structure of CT-diagnostics due to the COVID-19 epidemic: A hospital based study", AIP Conference Proceedings 2356, 020009. 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0053071>.
 22. Karostik D.V., Vodovатов A.V., Sokolovich E.G. "Evaluation of CT examinations structure for hospitalized patients with COVID-19", AIP Conference Proceedings 2356, 020011. 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0054352>.
 23. 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: <https://doi.org/10.17816/DD876>.

Поступила: 10.08.2022 г.

Попова Анна Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@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

Рыжов Сергей Анатольевич – руководитель центра по радиационной безопасности и медицинской физике Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

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

Для цитирования: Попова А.Ю., Водоватов А.В., Романович И.К., Рыжов С.А., Дружинина П.С., Руслан Р. Ахматдинов. 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. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39

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

Anna Yu. Popova^{1,2}, Aleksandr V. Vodovатов^{3,4}, Ivan K. Romanovich³, Sergey A. Ryzhov^{5,6}, Polina S. Druzhinina³, Ruslan R. Akhmatdinov³

¹ Federal Service of Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of the Continuous Professional Education, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ 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

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

⁵ Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

⁶ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

Computed tomography has become the main method of early diagnostics of COVID-19 during the pandemic of the novel coronavirus infection. Based on results of computed tomography of the chest it is possible to diagnose viral pneumonia associated with COVID-19, to quickly assess the lung damage volume and severity of changes, to perform quick routing of patients and to start antiviral treatment. Hence, 2020 was associated with a rapid increase in the number of computed tomography examinations with corresponding changes in the structure of X-ray diagnostics. The aim of the current study was to evaluate the impact of the pandemic of the novel coronavirus infection on the structure of X-ray diagnostics and collective doses from medical exposure in the Russian Federation in 2019-2020. The study was based on the results of analysis of the federal state statistical surveillance forms №3-DOZ and №30 as well as on the data on Covid-19 morbidity in the regions of the Russian Federation. The results of the study indicate that there were no significant changes in the structure of X-ray diagnostics in 2020 compared to 2019 except for the increase in the number of computed tomography examinations. Their contribution to the total number of X-ray examinations has increased to 8,2% in 2020 compared to 4,6% in 2019. Contribution of other imaging modalities to the total number of X-ray examinations has not changed significantly. In 2020 the number of X-ray examinations decreased by 20% in average, varying from 6% for diagnostic nuclear medicine to 42% for interventional examinations. At the same time, the number of computed tomography examinations has rapidly increased by 60%. The structure of collective dose from medical exposure has significantly changed in 2020. Contribution of computed tomography to the collective dose in 2020 accounted for to 74% compared to 57% in 2019. Contribution of other imaging modalities has decreased by the factor of 1,5-2. Contribution of radiography examinations has decreased to 10,5% compared to 19% in 2019. Collective doses have correspondingly decreased by 20-30% for all imaging modalities except for computed tomography. Collective dose from computed tomography has increased by 71% compared to 2019. The number of all X-ray examinations in the Russian Federation has decreased by 12%: from 294 million in 2019 to 258 million in 2020. Collective dose from medical exposure has rapidly increased in 2020 by 30% to 115 thousand man. -Sv compared to 88 thousand man. -Sv in 2019. In average, in regions of the Russian Federation in 2020 each second computed tomography examination has been performed as a part of COVID-19 diagnostics with 2,3 computed tomography examinations per person infected with COVID.

Key words: *computed tomography, COVID-19, novel coronavirus infection, collective dose, X-ray diagnostics.*

Authors' personal contribution

Anna Yu. Popova – scientific management of the study, development of the study design, determination of the aim of the study.

Aleksandr V. Vodovатов – development of the study design, data collection and analysis, interpretation of the results, writing the text of the article.

Ivan K. Romanovich – development of the study design, determination of the aim of the study, systematization and final editing of the article.

Sergey A. Ryzhov – data collection and analysis, processing of results.

Polina S. Druzhinina – data collection and analysis, processing of results, design of the article for submission to the Journal.

Ruslan R. Akhmatdinov – preparation and export of data from the Federal data bank 3-DOZ.

Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Aleksandr V. Vodovатов

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

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

Information about the source of funding

The study was not financially supported.

References

- World Health Organization. [On-line resource]: Available from: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> [Accessed: 17.07.2020].
- Zhao W, Zhong Z, Xie X, Yu Q, Liu J. Relation between chest CT findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *American Journal of Radiology*. 2020; 214: 1072-1077. Available from: <https://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.20.23288> [Accessed: 20.07.2020].
- Erturk SM. CT is not a screening tool for corona-virus disease (COVID-19) pneumonia. (Letter) *American Journal of Radiology*. 2020;215. – [On-line resource]: – Available from: <https://www.ajronline.org/doi/abs/10.2214/AJR.20.23288>. [Accessed: 20.07.2020].
- Preprint L 87 Radiation diagnosis of coronavirus disease (COVID-19): magnetic resonance imaging: preprint No. CDT – 2020 – III. Version dated 05/12/2020 / comp. Vasiliev YuA, Bazhin AV, Masri AG, et al. Series “Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics”. 2020; Issue. 67. Moscow: GBUZ “NPKTs DiT DZM”, 24 p. https://tele-med.ai/media/documents/luchevaya_dagnostika_covid19_MRI.pdf. (In Russian).
- Tsoriev AE, Meshkov AV, Gigolaev DA, Kuchiev ZO, Aliev RKH, Sharbuzov AA. The use of lung MRI for COVID-19 infection. *Radiation diagnostics and therapy*. 2020;11(2):49-57. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-2-49-57>. (In Russian).
- Ministry of Health of the Russian Federation. Temporary guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of a new coronavirus infection COVID-19 (Version dated February 22, 2022). 2022; 245 p. https://static0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attachs/000/059/392/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V15.pdf. (In Russian).
- Interim guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of a new coronavirus infection (covid-19) Version 7 (06/03/2020) Ministry of Health of the Russian Federation https://static0.rosminzdrav.ru/system/attachments/attachs/000/050/584/original/03062020_%D0%9C%D0%9A_COVID-19_v7.pdf. (In Russian).
- Methodological recommendations, algorithms for the actions of medical staff at various stages of the provision of care, checklists and standard documents developed for the period of the presence and threat of further spread of a new coronavirus infection in St. Petersburg. Version 2.0 from 10.06.2020 https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2020/06/CQVID-19_Ver.2.0_10.06.pdf. (In Russian).
- 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 p. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>.
- Official website of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Radiation Hygiene after professor P.V. Ramzaev. – Available on: <http://niirg.ru/> [Accessed: 28.07.2022] (In Russian).
- Vodovatov A, Romanovich I, Ryzhov S, Chipiga L, Berkovich G, Biblin A. Assessment of the changes in structure of X-ray diagnostics and collective dose from CT examinations related to Covid-19 in the Russian Federation in 2020. Medical physics in the Baltic states Proceedings of the 15th International Conference on Medical Physics. 2021;15:18.
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 1: Trends, structure of x-ray diagnostics and doses from medical exposure. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1):6-24. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>.
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2):6-24. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24>.
- Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2018 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). – Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2019. 69 p. (In Russian).
- Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2019 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). – Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2020. 63 p. (In Russian)
- Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AN, et al. Information packet: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2019. Saint-Petersburg; 2019. 70 p. (In Russian).
- Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation exposure doses of the population of the Russian Federation in 2020. Saint-Petersburg; 2021. 80 p. (In Russian).
- 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).
- Balonov M, Golikov V, Zvonova I, Chipiga L, Kalnitsky S, Sarycheva S, et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015. *Journal of Radiological Protection*. 2018;38(1): 121.
- Balonov MI, Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, et al. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine, Volume 1. Radiation diagnostics. Ed. professor Balonov MI. St. Petersburg: NIIRG named after prof. P.V. Ramzaev; 2019. Vol. 1. 320 p. (In Russian).
- Druzhinina PS, Vodovatov AV, Chipiga LA, Zaguzov VS, Kamyshanskaya IG, Merkulov DV, et al. “Assessment of changes in the structure of CT-diagnostics due to the COVID-19 epidemic: A hospital based study”, AIP Conference Proceedings 2356, 020009. 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0053071>.
- Karostik DV, Vodovatov AV, Sokolovich EG. “Evaluation of CT examinations structure for hospitalized patients with COVID-19”, AIP Conference Proceedings 2356, 020011. 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0054352>.
- Druzhinina YuV, Ryzhov SA, Vodovatov AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Mukhortova AN, et al. Influence 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. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD876>. (In Russian).

Received: August 10, 2022

Anna Yu. Popova – Doctor of Medical Science, Professor, Head of the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Moscow, Russia

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – PhD, Head of Medical Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

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

Sergey A. Ryzhov – vice-president of the Association of Medical physicists of Russia, head of department of radiation safety and medical physics of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology; scientist of Scientific-practical clinical center of diagnostics and telemedicine technologies of the Department of healthcare of Moscow, Moscow, Russia

Polina S. Druzhinina – junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

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

For citation: Popova A.Yu., Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Ryzhov S.A., Druzhinina P.S., Ruslan R. Akhmatdinov. 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. Vol. 15, No. 3. P. 6-39. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39

Сравнительный анализ российских и международных подходов к вопросам обеспечения радиационной безопасности при облучении природными источниками излучения

Т.А. Кормановская

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

Статья посвящена сравнительному анализу нормативной базы Российской Федерации с рекомендациями и требованиями международных организаций применительно к облучению природными источниками излучения населения и работников. Показано, что подходы к природному облучению в отечественных санитарных правилах в несколько большей степени согласуются с положениями Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС, чем с рекомендациями Основных норм безопасности МАГАТЭ. Анализ требований российских и международных документов является первым шагом на пути к оценке возможности внедрения рекомендаций международных организаций в отечественное санитарное законодательство и разработке предложений по гармонизации требований к конкретным факторам природного облучения населения и работников.

Ключевые слова: природные источники ионизирующего излучения, радон, строительные материалы, питьевая вода, референтный уровень, гигиенический норматив, эффективная доза, международные рекомендации, гармонизация.

Введение

Природные источники ионизирующего излучения (ИИИ) воздействуют на человечество с момента его появления, в отличие от техногенных и медицинских источников, влияние которых ограничивается временным интервалом немногим более одного века [1]. В отсутствие радиационных аварий и инцидентов именно природные ИИИ вносят основной вклад в облучение человека; даже в 2020–2021 гг., когда в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции резко возросло количество медицинских диагностических рентгенологических процедур (что привело к значительному росту дозы медицинского облучения пациентов), вклад природных ИИИ в суммарную дозу облучения населения Российской Федерации составил около 80% [2]. Закономерно, что вопросам регулирования воздействия природных ИИИ на человека отводится одно из важнейших мест в нормативных документах большинства стран мира, а также в рекомендациях и директивах ведущих международных организаций по вопросам обеспечения радиационной безопасности [3–9].

По данным НКДАР ООН, среднемировое значение дозы природного облучения человека составляет

около 2,4 мЗв/год [10], однако для стран Европы аналогичный средний показатель практически в 1,5 раза выше – 3,2 мЗв/год [7], что значительно ближе к среднероссийскому значению дозы облучения природными ИИИ в расчете на 1 жителя, которое, по данным всех измерений, в регионах Российской Федерации на протяжении 2001–2020 гг. составило 3,36 мЗв/год [2]. Незначительное превышение (менее 10%) среднероссийской дозы облучения населения за счет природных ИИИ над среднеевропейской объяснимо как минимум тем фактом, что большая часть территории России расположена в более суровых климатических условиях, чем большинство европейских стран, что приводит к большей герметизации жилищ в целях теплосбережения и, соответственно, к лучшим условиям для накопления в помещениях радона, торона и их короткоживущих дочерних продуктов распада.

Одним из основных направлений реализации государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, утвержденной Указом Президента Российской Федерации № 585 от 13 октября 2018 г.¹, определено «совершенствование нормативно-

¹ Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Указом Президента Российской Федерации № 585 от 13 октября 2018 г. [Fundamentals of state policy in the field of ensuring nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period up to 2025 and beyond. Approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 585 dated October 13, 2018 (In Russ.)]

Кормановская Татьяна Анатольевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

правовой базы в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в том числе критериев, принципов, системы нормирования и основных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности с учетом стандартов и рекомендаций международных организаций в области использования атомной энергии».

Цель исследования – сравнительный анализ требований нормативной базы Российской Федерации с рекомендациями международных организаций применительно к облучению природными ИИИ как первый этап анализа перспектив и проблем гармонизации документов и оценки возможности внедрения принятых в мире критериев, принципов и требований обеспечения радиационной безопасности при природном облучении в отечественное санитарное законодательство без снижения достигнутого уровня радиационной безопасности населения Российской Федерации.

Объекты исследования

Основные требования радиационной безопасности при воздействии природных ИИИ установлены в трех санитарных правилах Российской Федерации: НРБ-99/2009², ОСПОРБ 99/2010³ и СанПиН 2.6.1.2800-10⁴. В качестве международных документов в рамках данной статьи рассматриваются Основные нормы безопасности МАГАТЭ «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности» [8] и «Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС, устанавливающая базовые стандарты защиты от рисков, возникающих от воздействия ионизирующего излучения, и отменяющая Директивы 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom и 2003/122/Euratom» [9], действующая на территории 27 государств-членов ЕС.

Для сравнения требований, установленных в санитарных правилах Российской Федерации, с рекомендациями международных организаций необходимо рассмотреть все факторы природного облучения, воздействию которых люди подвергаются в коммунальной сфере и производственной деятельности:

- облучение изотопами радона в жилых и общественных зданиях и на рабочих местах;
- облучение за счет потребления питьевой воды;
- облучение за счет содержания природных радионуклидов (ПРН) в строительных материалах зданий;
- облучение работников неядерных отраслей промышленности, связанное с их профессиональной деятельностью (обращение с материалами с повышенным содержанием ПРН; облучение экипажей воздушных судов космическими лучами).

Сравнительный анализ требований российского санитарного законодательства в части облучения природными ИИИ с рекомендациями и директивами международных организаций включает в себя, в первую очередь, анализ подходов к регулированию природного облучения.

В соответствии с Федеральным законом от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»⁵ все требования по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации устанавливаются в зависимости либо от происхождения источника излучения (техногенный, природный), либо от способа применения источника (облучение в медицинских целях), либо от возникновения незапланированной ситуации с источником (аварийное облучение). В международных документах [8, 9] все облучение ИИИ рассматривается через призму типа ситуации облучения: существующего, планируемого или аварийного облучения; вместе с тем, в [8, 9] определены и «категории облучения»: в п. 1.44 Основных норм безопасности МАГАТЭ и п. 7 Преамбулы Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС указано, что они «применяются к трем категориям облучения: профессиональное облучение, облучение населения и медицинское облучение».

В соответствии с международными рекомендациями [8, 9] природное облучение населения в коммунальных условиях и в быту, а также за счет нахождения на рабочих местах в производственных зданиях, относится к ситуации существующего облучения. В случае законодательного перехода нормативной базы Российской Федерации на три типа ситуаций облучения роль природного облучения населения в ситуации существующего облучения

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

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

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

⁵ Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [Federal Law No. 3-FZ of January 9, 1996 "On Radiation Safety of the Population". (In Russ.)]

значительно усилится по сравнению с отнесенным к той же ситуации облучением «от остаточного радиоактивного материала, сохранившегося после предыдущей деятельности, которая не подлежала регулируемому контролю, или после ситуации аварийного облучения» [8], поскольку дозы облучения населения за счет воздействия природных ИИИ значительно превышают дозы за счет остаточного загрязнения территорий, к примеру, после аварии на Чернобыльской АЭС.

Вторым основополагающим аспектом вопросов регулирования природного облучения населения являются системы критериев обеспечения радиационной безопасности при облучении природными ИИИ, значительно, на первый взгляд, отличающиеся в российских и международных документах. В санитарных правилах Российской Федерации в отношении природных ИИИ установлены гигиенические нормативы (значения показателей, которые обязательны к соблюдению, но если нормативы не превышены, то дальнейшие мероприятия по улучшению радиационной обстановки не предусмотрены) или уровни вмешательства (значения показателей, при превышении которых необходимо проводить мероприятия по улучшению радиационной обстановки с учетом социальных и экономических факторов). В Основных нормах безопасности МАГАТЭ [8] для регулирования природного облучения населения устанавливаются референтные уровни («уровень дозы, риска или концентрации активности (удельной активности или объемной активности – *примеч. автора*), выше которого планировать допустимое облучение неприемлемо, а ниже которого следует продолжать оптимизацию защиты и безопасности»), выполняющие «роль граничного условия при определении диапазона вариантов для целей оптимизации при принятии мер защиты». Как указано в [8], «фактическое облучение может быть выше или ниже референтного уровня, референтный уровень используется как ориентир для определения дальнейших мер радиационной защиты вне зависимости от уровней фактического облучения». При этом оптимизация защиты и безопасности должна применяться, даже если полученные значения не превышают референтный уровень. МАГАТЭ рекомендует производить выбор значений референтных уровней, исходя из дозы облучения в границах диапазона от 1 до 20 мЗв/год.

В Директиве № 2013/59/Euratom Совета ЕС (статья 4 (84)) также установлены референтные уровни – «уровень эффективной дозы, или эквивалентной дозы, или удельной (объемной) активности, выше которого сочтено неприемлемым допускать облучение в результате имеющейся ситуации облучения, несмотря на то, что этот уровень не является пределом, который не может быть превышен». При этом статья 7 (1) говорит, что «оптимизация защиты должна отдавать приоритет воздействиям выше референтного уровня и должна продолжать осуществляться ниже референтного уровня». Для населения в ситуациях существующего облучения «референтные уровни, выраженные в эффективных дозах, устанавливаются в диапазоне от 1 до 20 мЗв/год» (Приложение I).

Гигиенические нормативы, установленные в санитарном законодательстве в Российской Федерации, обеспечивают соблюдение не превышения для населения годовой эффективной дозы облучения за счет природных ИИИ 20 мЗв/год; исходя из того, что в среднем за год

люди проводят 80% времени в зданиях и 20% – на улице, при значении ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий на уровне гигиенического норматива 200 Бк/м³ (для жилых и общественных зданий) доза облучения населения за счет внутреннего облучения радона составит 13,4 мЗв/год; при значении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения 0,3 мкЗв/ч (гигиенический норматив для жилых и общественных зданий и прилегающей к ним территории) доза внешнего облучения населения составит 2,1 мЗв/год. Остальные компоненты дозы природного облучения населения вносят суммарный вклад не более 0,5 мЗв/год; итого, в соответствии с установленными требованиями санитарных правил, максимальная доза облучения населения Российской Федерации за счет всех природных ИИИ не превысит 16 мЗв/год.

Радон. В Основных нормах безопасности МАГАТЭ [8] для ограничения облучения населения за счет ингаляции радона предписывается устанавливать референтный уровень в единицах среднегодовой объемной активности (ОА) радона в воздухе равным 300 Бк/м³ в «жилых домах и других строениях с высокой заполняемостью лицами из населения» (что при использовании принятого в международной практике коэффициента равновесия между радонами и его короткоживущими дочерними продуктами распада, равного 0,4, соответствует значению эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона 120 Бк/м³. Данное значение референтного уровня получено, «исходя из предположения о том, что коэффициент равновесия для ²²²Rn равен 0,4, а годовой уровень заполняемости – 7000 ч» – в этом случае «значение связанной с ²²²Rn концентрации активности 300 Бк/м³ соответствует годовой эффективной дозе порядка 10 мЗв» (п. 5.20 (а)). Ключевым моментом гармонизации российского законодательства с международными рекомендациями в части ограничения содержания радона в зданиях (а также по другим позициям) является вопрос необходимости соблюдения установленных уровней. Гигиенические нормативы ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий (100 Бк/м³ для вновь построенных (реконструированных) зданий и 200 Бк/м³ для эксплуатируемых зданий), установленные в санитарных правилах Российской Федерации, имеют статус требований, при несоблюдении которых вновь построенное здание не допускается к эксплуатации, а в эксплуатируемом здании должны быть предусмотрены радонозащитные мероприятия. Однако, несмотря на жестко установленные требования, в России ежегодно фиксируются превышения гигиенических нормативов по содержанию радона в эксплуатируемых зданиях (особенно в зданиях старой постройки). Поэтому о полном соблюдении требований НРБ-99/2009 и СанПин 2.6.1.2800-10 в части облучения радона на сегодняшний день возможно говорить только в отношении вновь построенных зданий, прошедших радиационное обследование.

Из определения «референтного уровня», приведенного в Основных нормах безопасности МАГАТЭ [8], не следует обязательность его соблюдения, однако в ситуациях, связанных с облучением радонами в жилых домах и зданиях с высокой заполняемостью населением (больницы, детские сады, школы), в данном документе предусмотрены обязанности Правительства при выявлении

«концентраций активности радона, требующих внимания с точки зрения общественного здравоохранения», включающие в себя (пп. 5.20-5.21):

- «принятие в приоритетном порядке мер по снижению концентраций активности ^{222}Rn в ситуациях, когда такие меры могут быть максимально эффективными» (в том числе «нормирование уровней концентрации активности ^{222}Rn в жилых домах и других строениях с высокой заполняемостью, при которых защита может считаться оптимизированной»);

- «разработку и осуществление плана действий по контролю облучения населения, обусловленного присутствием ^{222}Rn в закрытых помещениях»;

- «определение обстоятельств, при которых меры должны носить обязательный или добровольный характер с учетом юридических требований и существующих социально-экономических условий».

Таким образом, МАГАТЭ в своих рекомендациях не включает обязательного характера мер по снижению уровня содержания радона в помещениях жилых и общественных зданий.

Определение референтного уровня в Директиве № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] звучит категоричнее, чем в Основных нормах безопасности МАГАТЭ [8]: если в [8] выше референтного уровня неприемлемо *планировать* допустимое облучение, то в [9] выше референтного уровня неприемлемо его *допускать*. Таким образом, соблюдение значения референтного уровня в трактовке Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] является обязательным условием обеспечения радиационной безопасности (с возможностью дальнейшей оптимизации при содержании радона ниже референтного уровня). По обязательности выполнения понятие «референтного уровня» в Директиве № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] ближе к понятию «гигиенического норматива», принятого в российском санитарном законодательстве, чем к понятию «референтного уровня» в Основных нормах безопасности МАГАТЭ [8].

Статья 74 Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] предписывает странам-членам ЕС устанавливать национальные референтные уровни среднегодовой ОА радона в воздухе помещений жилых зданий и зданий с открытым (публичным) доступом не выше 300 Бк/м^3 (что соответствует ЭРОА радона 120 Бк/м^3), а также «содействовать принятию мер по выявлению жилищ, в которых среднегодовая ОА радона превышает референтный уровень, и поощрять, где это целесообразно, техническими или другими средствами, принятие мер по снижению ОА радона в этих жилищах».

Вопросу, возможно ли в Российской Федерации установление референтного уровня ЭРОА радона в зданиях равного 120 Бк/м^3 в качестве замены гигиенического норматива, а также – целесообразен ли переход к нормированию по величине ОА радона, посвящено значительное количество публикаций [11–13]. Анализ данных Единой государственной системы контроля и учета доз облучения

населения показал, что ужесточение требований по содержанию радона в воздухе помещений приведет к резкому (почти в 3 раза) увеличению числа зданий жилого и общественного назначения России с превышением установленного уровня; для отдельных субъектов Российской Федерации (Республика Алтай, Забайкальский край) ужесточение требований неизбежно приведет к нереальности их выполнения с учетом социальных и экономических факторов [13]. Учитывая размеры нашей страны, неоднородность климатических и геофизических условий проживания людей, и, как следствие, большой разброс значений содержания радона в зданиях, установление референтного уровня для жилых и общественных зданий возможно лишь в ряде регионов, причем для каждой территории его значение (не превышающее гигиенический норматив) должно быть рассчитано, исходя из реальных измерительных данных, накопленных за длительный срок.

Вопрос, по какому показателю – ОА или ЭРОА радона – необходимо проводить оценку содержания радона в помещении, не столь принципиален, так как данные величины связаны между собой коэффициентом равновесия (0,4 – в международных документах, 0,5 – в российских), хотя само значение коэффициента требует уточнения [14]. Анализ аппаратного парка ФБУЗ «Центров гигиены и эпидемиологии» в субъектах Российской Федерации показал значительно большее оснащение службы средствами определения ЭРОА изотопов радона, чем ОА радона [13]. Кроме того, на территории страны есть населенные пункты (например, г. Балей Забайкальского края), где высокое содержание тория в строительных материалах зданий, построенных в 1970-е гг., обуславливало высокое содержание торона в воздухе помещений [15, 16], а при переходе к нормированию ОА радона этот фактор учитываться не будет. Компромиссным решением могло бы стать введение отдельных показателей для нормирования содержания радона в зданиях старой постройки (по ЭРОА изотопов радона) и зданиях, построенных в XXI в. (по ОА радона), т.к. содержание тория в материалах, используемых при строительстве, с 1991 г. с введением в практику «Временных критериев для организации контроля и принятия решений»⁶ регулируется требованиями, установленными к эффективной удельной активности ПРН в строительных материалах, поэтому вклад торона в ингаляционное облучение населения минимален и его измерением в новых зданиях можно пренебречь.

В отношении содержания радона в воздухе на рабочих местах позиции международных документов [8] и [9] заметно отличаются: Основные нормы безопасности МАГАТЭ (п. 5.27) рекомендуют установление референтного уровня, «не превышающего среднегодовую концентрацию активности ^{222}Rn , равную 1000 Бк/м^3 » (что при времени работы 2000 ч в год и коэффициенте равновесия, равном 0,4 соответствует годовой эффективной дозе порядка 10 мЗв), тогда как Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС (статья 54 (1)) устанавливает «референтный уровень среднегодовой ОА радона в воздухе на

⁶ Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля. Документ МЗ РСФСР № 43-10/796 от 05.12.1990 г. [Limiting the public exposure to natural sources of ionizing radiation. Temporary criteria for decision making and organization of control. Document of the Ministry of Health of the RSFSR No. 43-10/796 of 05.12.1990. (In Russ.)]

рабочих местах, не превышающий 300 Бк/м³ (если иное не оправдано при данных национальных обстоятельствах)». При этом «в зонах на рабочих местах, где среднегодовые ОА радона продолжают превышать национальный референтный уровень, несмотря на предпринятые действия в соответствии с принципом оптимизации, страны-члены ЕС устанавливают требования по уведомлению о такой ситуации» (статья 54 (3)). Для рабочих мест с превышением референтного уровня объемной активности радона 300 Бк/м³ вступают в силу требования статьи 35 (2), предписывающие квалифицировать облучение работников в дозе более 6 мЗв/год как ситуацию планируемого облучения.

Приведенные выше значения соответствуют значениям ЭРОА радона 400 и 120 Бк/м³; гигиенический норматив ЭРОА изотопов радона в эксплуатируемых производственных зданиях и сооружениях в российских документах (ОСПОРБ 99/2010, СанПин 2.6.1.2800-10) составляет 300 Бк/м³, что несколько ниже референтного уровня, предлагаемого МАГАТЭ, и в 2,5 раза выше референтного уровня, установленного в странах-членах ЕС. Несмотря на различную годовую заполняемость зданий (жилые и общественные – 7000 ч, рабочие места – 2000 ч), значение референтного уровня, установленного Директивой № 2013/59/Euratom Совета ЕС в отношении содержания радона в воздухе на рабочих местах, численно равно значению референтного уровня для жилых и общественных зданий (300 Бк/м³), хотя получаемая эффективная доза облучения за счет радона для населения и работников (с учетом времени воздействия) отличается более чем в 3 раза.

Питьевая вода. Определяя в качестве референтного уровня облучения населения за счет потребления питьевой воды значение эффективной дозы не выше 1 мЗв/год, МАГАТЭ в Основных нормах безопасности [8] (п. 5.22) предлагает установление допустимых уровней содержания радионуклидов в питьевой воде в соответствии с рекомендациями, опубликованными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [17, 18]. Нормирование ВОЗ радиоактивности питьевой воды основывается на значении индивидуального дозового критерия (IDC), равного 0,1 мЗв/год; взаимосвязи значения IDC 0,1 мЗв/год и референтного уровня 1 мЗв/год, предлагаемого МАГАТЭ, посвящены параграфы 1.3.6 и 1.5.10 [18]. Именно эта «вилка» между 0,1 и 1 мЗв/год и обеспечивает пространство для применения принципа оптимизации. В санитарных правилах Российской Федерации уровни вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде установлены, исходя из значения годовой эффективной дозы облучения населения 0,1 мЗв/год, что дает аналогичный десятикратный запас по показателю дозы в случае превышения уровней вмешательства для проведения мероприятий с учетом принципа оптимизации. Если же сумма отношений удельных активностей радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства превышает 10 (что соответствует дозе 1 мЗв/год), вода считается непригодной для питьевого водоснабжения населения. Поэтому в данном случае международные и российские подходы к нормированию не отличаются, за исключением значения контрольного уровня (критерия первичной оценки качества) по суммарной альфа-активности: ВОЗ рекомендует 0,5 Бк/л, а ЕС – 0,1 Бк/л (но оставляет странам-членам возможность установить свой уровень,

показав, что в этом случае IDC в 0,1 мЗв/год не будет превышен [19, Приложение III, п. 1 (b)]), в Российской Федерации – 0,2 Бк/л.

В европейской практике (Приложение I к Директиве № 2013/51/Euratom [19]) в отношении содержания радона в воде подземных источников водоснабжения установлено «параметрическое значение» удельной активности радона в воде (термин «Референтный уровень» в данной Директиве не используется) в диапазоне от 100 до 1000 Бк/л (в Российской Федерации уровень вмешательства для ²²²Rn в воде – 60 Бк/л), при этом в случае превышения значения 1000 Бк/л защитные мероприятия считаются безусловно обоснованными. Таким образом, можно говорить о достаточной гармонизации российских и международных документов в данном вопросе, с той только разницей, что при соблюдении условия «Сумма отношений удельных активностей радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства не превышает 1» в России снижение содержания радионуклидов в воде не предусмотрено, а само понятие «референтного уровня» рекомендаций МАГАТЭ предполагает и дальнейшее улучшение радиационных показателей воды, несмотря на достигнутые уровни.

Строительные материалы. Международные документы регламентируют ограничение дозы внешнего облучения за счет воздействия ПРН, содержащихся в строительных материалах, на уровне 1 мЗв/год (п. 5.22 [8], статья 75 (1) [9]). Несмотря на то, что в международных документах не приведены численные показатели значений мощности амбиентной дозы (МАД) гамма-излучения в помещениях, их нетрудно рассчитать, исходя из предполагаемого времени пребывания людей в зданиях (7000 ч для жилых и общественных зданий, 2000 ч – для производственных): для жилых и общественных зданий уровень превышения МАД гамма-излучения над естественным фоном («в дополнение к внешнему облучению вне помещений» [9]) составит 0,14 мкЗв/ч, для рабочих мест – 0,50 мкЗв/ч. В отечественном санитарном законодательстве установлены следующие гигиенические нормативы МАД гамма-излучения в помещениях эксплуатируемых и вновь построенных (реконструированных) зданий: 0,30 мкЗв/ч (над уровнем МАД гамма-излучения на открытой местности) для жилых и общественных зданий; 0,60 мкЗв/ч – для зданий и сооружений производственного назначения.

Основные нормы безопасности МАГАТЭ [8] не определяют больше никаких рекомендаций в отношении строительных материалов, однако в Директиве № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] для регламентации содержания ПРН в строительных материалах предлагается использовать «индекс удельной активности», применяемый для оценки «дозы гамма-излучения, превышающей обычное облучение вне помещений, в здании, построенном из определенного вида строительного материала» (Приложение VIII) по формуле:

$$I = C_{\text{Ra-226}}/300 + C_{\text{Th-232}}/200 + C_{\text{K-40}}/3000,$$

где $C_{\text{Ra-226}}$, $C_{\text{Th-232}}$ и $C_{\text{K-40}}$ – удельные активности ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K соответственно в строительном материале, Бк/кг.

В соответствии с [9] «значение индекса удельной активности, равное 1, может применяться в качестве консервативного скринингового инструмента для иден-

тификации материалов, которые могут вызвать превышение референтного уровня, установленного в статье 75 (1)». Таким образом, для применения в строительстве рекомендуется использование материалов, отвечающих условию:

$$C_{\text{Ra-226}}/300 + C_{\text{Th-232}}/200 + C_{\text{K-40}}/3000 \leq 1.$$

Если умножить обе части неравенства на 300, получим выражение:

$$C_{\text{Ra-226}} + 1,5 \times C_{\text{Th-232}} + 0,1 \times C_{\text{K-40}} \leq 300 \text{ Бк/кг},$$

достаточно близкое к используемому в Российской Федерации показателю радиационной безопасности строительных материалов – эффективной удельной активности ПРН ($A_{\text{эфф}}$), которая при использовании материала без ограничений в строительстве любых зданий и сооружений (в том числе жилого и общественного назначения) должна соответствовать требованию:

$$C_{\text{Ra-226}} + 1,3 \times C_{\text{Th-232}} + 0,09 \times C_{\text{K-40}} \leq 370 \text{ Бк/кг}.$$

В целом, можно считать, что подходы к обеспечению радиационной безопасности строительных материалов в Российской Федерации в достаточной мере согласуются с требованиями Евросоюза; использование материалов, соответствующих требованию $A_{\text{эфф}} \leq 370 \text{ Бк/кг}$, не приведет к внешнему облучению населения в дозе, превышающей 1 мЗв/год, несмотря на более высокие установленные в России значения гигиенических нормативов МАД гамма-излучения в зданиях.

Производственное природное облучение. В отношении облучения природными ИИИ работников, связанного с их профессиональной деятельностью (исключая ядерные отрасли промышленности), позиция международных документов [8, 9] различна: к примеру, МАГАТЭ рекомендует квалифицировать космическое облучение экипажей воздушных судов и космических аппаратов как ситуацию существующего облучения (п. 5.1 (с)(iv)), в то время как Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС относит облучение экипажей воздушных судов к ситуации планируемого облучения, а облучение членов космических экипажей рассматривается как специально авторизованное облучение (Преамбула, п. 26).

В вопросе обращения с материалами, содержащими ПРН (за исключением «сельскохозяйственных удобрений и веществ, улучшающих или мелиорирующих почву, и строительных материалов, а также остаточного радиоактивного материала в окружающей среде» [8]), Основные нормы безопасности МАГАТЭ устанавливают (п. 5.1 (с)(iii)) значения удельных активностей ПРН (1 кБк/кг для любого радионуклида из цепочек распада ^{238}U и ^{232}Th , 10 кБк/кг для ^{40}K), до достижения которых обращение с материалами относится к ситуации существующего облучения. Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] приводит аналогичные значения удельных активностей ПРН (для радионуклидов из цепочек распада ^{238}U и ^{232}Th – в состоянии секулярного (векового) равновесия с материнскими радионуклидами) в качестве критериев освобождения или изъятия (Приложение VII, Таблица А, часть 2), при этом из перечня материалов исключаются остаточные материалы (хвосты, отходы, перечисленные в п. 2 Приложения XIII) предприятий, перерабатывающих радиоактивные материалы природного происхождения, которые включаются в состав

строительных материалов (Приложение VII, п. 2 (е)). В то же время в разделе Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС, посвященном регуляторному контролю, говорится о необходимости «идентификации практик с использованием радиоактивных материалов природного происхождения» (статья 23), а в Приложении VI приведен перечень секторов (отраслей) промышленности, использующих подобные материалы, к которым, в частности, относятся: извлечение редкоземельных элементов из монацита; отрасли промышленности, применяющие циркон и цирконий; производство фосфатных удобрений и фосфорной кислоты; фильтрация грунтовых вод и производство геотермальной энергии; добыча и переработка металлических руд, кроме урановой руды, и другие неядерные отрасли промышленности, где возможно дополнительное облучение работников природными ИИИ. Аналогичный перечень производств с необходимостью проведения радиационного контроля приведен в СанПин 2.6.1.2800-10.

В российских документах для работников неурановых отраслей промышленности установлен дозовый предел 5 мЗв/год за счет облучения природными ИИИ в ходе профессиональной деятельности, при превышении которого работник приравнивается к лицу, работающему с техногенными ИИИ (персонал группы А). Подход, реализованный в Директиве № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] (статья 35 (2)) применительно к облучению работников, в значительной мере отличается от российского: «Рабочие места, указанные в статье 54 (3), где есть вероятность превышения эффективной дозы облучения работников 6 мЗв/год (или соответствующей экспозиции радоном, определенной страной-членом ЕС), должны управляться как ситуация планируемого облучения, и страны-члены должны определить, какие требования, установленные в настоящей главе, являются подходящими в данном случае. Для рабочих мест, указанных в статье 54 (3), где эффективная доза облучения работников не превышает 6 мЗв/год (или соответствующую экспозицию радоном), компетентный орган должен требовать, чтобы облучение постоянно контролировалось». Таким образом, приводимый в статье 35 (2) дозовый критерий (6 мЗв/год), определяющий степень радиационной безопасности работника, характеризует только один радиационный фактор – облучение радоном на рабочих местах – и только, согласно статье 54 (3), если «среднегодовая ОА радона превышает национальный референтный уровень, несмотря на принятые, в соответствии с принципом оптимизации, защитные мероприятия (согласно Главе III)», причем это относится ко всем возможным рабочим местам, а не только к предприятиям неурановых отраслей промышленности, где возможно дополнительное природное облучение работников, обусловленное производственными процессами.

При этом, согласно [9], ситуация облучения радоном на рабочих местах относится к ситуации планируемого облучения только в том случае, когда доза облучения радоном превышает 6 мЗв/год (с учетом статьи 54 (3)), при этом страны-члены ЕС «должны обеспечить уведомление о таких рабочих местах и в случаях, когда облучение работников может превысить эффективную дозу в 6 мЗв/год или соответствующее значение экспозиции радоном, управлять ими как ситуацией планируемого облучения и применять пределы дозы, а также определить, какие требования оперативной защиты необходимо применять».

Не относя в целом деятельность работников неурановых отраслей промышленности к «практикам» (т.е., согласно статье 4 (65), «деятельности человека, которая может увеличить облучение людей источником излучения и управляется как ситуация планируемого облучения»), Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС [9] квалифицирует ее как производственное облучение в ситуации существующего облучения, тем не менее, оговаривая, что «ситуации существующего облучения, которые вызывают озабоченность с точки зрения радиационной защиты и за которые может быть назначена юридическая ответственность, подпадают под соответствующие требования к ситуации планируемого облучения» (статья 100 (3)).

В отношении членов экипажей воздушных судов, облучение которых квалифицируется [9] как ситуация планируемого облучения, установлено значение граничной дозы 6 мЗв/год (статья 35 (3)): «Для предприятия, эксплуатирующего воздушные суда, где эффективная доза облучения членов экипажа космическим излучением может превысить 6 мЗв/год, должны применяться соответствующие требования, изложенные в главе VI, с учетом особенностей данной ситуации облучения». В этом случае в качестве мер реагирования предложена категоризация работников (статья 40): «Категория А: облучаемые работники, которые могут получить эффективную дозу, превышающую 6 мЗв/год». Кроме того, «страны-члены ЕС должны обеспечить, чтобы в тех случаях, когда эффективная доза облучения членов экипажа может превысить 1 мЗв/год, компетентный орган требовал от предприятия принятия соответствующих мер» (например, составление графиков работы с целью снижения доз облучения членов экипажа, оценка доз облучения членов экипажа и их информирование о рисках для здоровья, обеспечение особой защиты для беременных женщин (статья 10 (1))).

При согласованности отдельных моментов российского и европейского подходов к обеспечению радиационной безопасности при облучении работников природными ИИИ в производственных условиях (перечни неурановых отраслей промышленности с высокой вероятностью повышенного облучения работников, проведение производственного радиационного контроля), Директива № 2013/59/Euratom Совета ЕС, в целом, не приводит конкретных требований по обеспечению радиационной безопасности (за исключением облучения радоном на рабочих местах) данных категорий работников, ограничиваясь возможностью отнесения к ситуации планируемого облучения в случае «озабоченности с точки зрения радиационной защиты».

Выводы

На основании выполненного сравнительного анализа требований нормативной базы Российской Федерации с рекомендациями международных организаций применительно к облучению природными ИИИ можно сделать следующие выводы:

1. Принятая в международных документах классификация облучения на три типа ситуаций (существующее, планируемое, аварийное) отсутствует в санитарном законодательстве Российской Федерации.

2. Требования обеспечения радиационной безопасности при облучении природными ИИИ, установленные в

Российской Федерации, обеспечивают соблюдение диапазона доз облучения населения (1–20 мЗв/год), рекомендованного международными организациями.

3. По отдельным факторам природного облучения (внешнее облучение за счет содержания ПРН в строительных материалах), а также по обязательности соблюдения установленных критериев воздействия природных ИИИ и конкретике рассмотрения отдельных вопросов природного облучения действующие требования санитарных правил Российской Федерации (НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010, СанПин 2.6.1.2800-10) в большей мере согласуются с положениями Директивы № 2013/59/Euratom Совета ЕС, чем с рекомендациями Основных норм безопасности МАГАТЭ.

4. Требования обеспечения радиационной безопасности питьевой воды, установленные в Российской Федерации, соответствуют положениям и рекомендациям международных организаций.

5. Гигиенические нормативы содержания радона в помещениях эксплуатируемых зданий, установленные в Российской Федерации, практически в два раза превышают максимальные рекомендуемые Основными нормами безопасности МАГАТЭ и установленные Директивой № 2013/59/Euratom Совета ЕС референтные уровни содержания радона в помещениях.

Выполненный сравнительный анализ очертил основные проблемы и пути гармонизации отечественных санитарных правил с рекомендациями международных организаций в части природного облучения:

– подходы к классификации облучения: без перехода российского санитарного законодательства к оценке радиационной безопасности с позиций трех ситуаций облучения (существующее, планируемое, аварийное) природное облучение рассматривается обособленно, без связи с другими радиационными факторами, влияющими на население в ситуации существующего облучения (например, остаточного загрязнения радионуклидами). Вместе с тем, в международных документах (как и в российских санитарных правилах) для отдельных компонентов природного облучения установлены рекомендуемые показатели или обязательные требования, ограничивающие облучение населения за счет природных ИИИ, применение которых на практике (независимо от использования ситуаций или категорий облучения) должно обеспечивать радиационную безопасность при природном облучении людей;

– уровни содержания радона в воздухе помещений жилых, общественных и производственных зданий: исходя из реальных показателей природного облучения населения Российской Федерации, установление на всей территории страны гигиенического норматива содержания радона на уровне 120 Бк/м³ представляется невозможным, так как в большом числе случаев это приведет к его несоблюдению, и, как следствие, – к нарастанию социальной напряженности из-за несоответствия, например, зданий детских учреждений требованиям радиационной безопасности. Несомненно, на сегодняшний день радоновая проблема является краеугольным камнем в перспективе гармонизации российских и международных документов. В качестве варианта ее решения можно предложить введение региональных референтных уровней содержания радона в субъектах Российской Федерации.

Федерации с «благополучной» радоновой обстановкой, сохранив при этом действующие единые гигиенические нормативы на всей территории страны;

– рекомендуемый или обязательный характер установленных требований. Концепция референтных уровней (предполагающая в том числе постоянную и добровольную оптимизацию показателей природного облучения даже в области значений ниже установленных референтных уровней), предложенная МКРЗ в Публикации 103 [4], продвигаемая МАГАТЭ в Основных нормах безопасности [8] и поддерживаемая Советом ЕС в Директиве № 2013/59/Euratom [9], отличается от понятия гигиенических нормативов российских санитарных правил (обязательные к выполнению требования, при соблюдении которых дальнейшая оптимизация не требуется); однако рекомендательный характер референтных уровней, установленных Основными нормами безопасности МАГАТЭ, не согласуется с обязательностью требований к соблюдению аналогичных показателей, принятых в ЕС (при единстве международного и европейского подхода к оптимизации радиационной защиты в области ниже значимых референтных уровней).

Внедрение в отечественное законодательство необязательных к исполнению требований во многих случаях неизбежно приведет к их игнорированию, а говорить об оптимизации радиационной обстановки в части облучения природными ИИИ при значениях ниже референтных уровней будет целесообразным только после выполнения условия их превышения, что в настоящее время, например, по содержанию радона в воздухе жилых и общественных зданий в ряде регионов страны невозможно. С учетом достигнутого уровня радиационной безопасности населения при облучении природными ИИИ, целесообразно сохранить в нормативной базе Российской Федерации обязательность выполнения требований (гигиенических нормативов) по обеспечению радиационной безопасности при природном облучении, установив дополнительно, где это возможно, значения референтных уровней, не превышающие значения гигиенических нормативов, для реализации перспектив дальнейшего улучшения радиационной обстановки в части природного облучения.

Заключение

Во исполнение задач, поставленных «Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», утвержденными Указом Президента Российской Федерации № 585 от 13 октября 2018 г., специалисты ведущих институтов Роспотребнадзора, Росатома, ФМБА России и других ведомств рассматривают перспективы гармонизации нормативной базы Российской Федерации по обеспечению радиационной безопасности с рекомендациями международных организаций; однако по многим вопросам, в том числе касающимся облучения населения за счет природных ИИИ, согласованная позиция на сегодняшний день не выработана. Изложенный в статье материал может стать основой для обсуждения специалистами острых вопросов природного облучения и еще одним шагом в поиске путей гармонизации отечественного санитарного законодательства с международными

стандартами с целью обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации при облучении природными ИИИ.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Онищенко Г.Г., Романович И.К., Историк О.А., и др. К 125-летию открытия радиоактивности: история становления и текущее состояние нормативного обеспечения радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, №. 4. С. 6–16. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-6-16.
2. 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.
3. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. Пер. с англ. М.В. Жуковского; под ред. А.В. Кружалова. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
4. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ. Пер. с англ.; под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
5. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону. Перевод публикации 115 МКРЗ. Пер. с англ.; под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. 91 с.
6. 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. 91 с.
7. Garcia-Talavera M., Mrdakovic Popic J., Görts P., et al. Application of the concepts of exemption and clearance to the regulation of naturally occurring radioactive material (NORM) across HERCA countries. HERCA Report 2021. HERCA WG NAT. HERCA, 2021. 58 p.
8. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3. Вена: МАГАТЭ, 2015. 477 с.
9. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // Official Journal of the European Union. 7.11.2013. Vol. 57, No 13. 73 p.
10. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. New York: United Nations, 2008. 334 p.
11. Киселев С.М., Жуковский М.В. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. Международный опыт регулирования // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 48–52.
12. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 67–69.
13. Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. К обоснованию изменений в нормировании содержа-

- ния радона в воздухе помещений // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 6 (315). С. 42–48. DOI: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-42-48.
14. Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. Оценка коэффициента равновесия между радоном и его короткоживущими дочерними продуктами распада в воздухе эксплуатируемых общественных зданий // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора (г. Екатеринбург, 15-17 сентября 2021 г.). Под ред. А.Ю. Поповой. Екатеринбург: ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора, 2021. С. 109–111.
 15. Маркин Н.С., Корольков А.Т. Геохимическая характеристика почв наиболее загрязненной части Балея (Забайкальский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 35. С. 71–83. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.35.71.
 16. Корольков А.Т. Монашниковская проблема города Балея // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2016. № 1 (54). С. 96–103.
 17. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 541 p.
 18. Management of radioactivity in drinking-water. Geneva: World Health Organization, 2018. 104 p.
 19. Council Directive 2013/51/Euratom of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption // Official Journal of the European Union. L 296, 7.11.2013. 10 p.

Поступила: 29.04.2022 г.

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

Для цитирования: Кормановская Т.А. Сравнительный анализ российских и международных подходов к вопросам обеспечения радиационной безопасности при облучении природными источниками излучения // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 40-49. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-40-49

Comparative analysis of Russian and international approaches to radiation safety related to exposure to natural sources of radiation

Tatyana A. Kormanovskaya

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 paper presents results of comparative analysis of the regulatory framework of the Russian Federation with the recommendations and requirements of international organizations in relation to the exposure of population and workers to natural sources of radiation. It is shown that the approaches to radiation safety related to exposure to natural sources of radiation in the Russian regulatory documents are somewhat more consistent with the provisions of the EU Council Directive 2013/59/Euratom than with the recommendations of the IAEA Basic Safety Standards. Analysis of requirements of Russian and international documents is the first step on the way to assess the possibility of implementation of recommendations of international organizations into the Russian regulatory documents and to develop the proposals on harmonization of requirements for control of the exposure of population and workers to natural sources of radiation.

Key words: natural sources of ionizing radiation, radon, building materials, drinking water, reference level, hygienic norm, effective dose, international recommendations, harmonization.

Tatyana A. Kormanovskaya

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

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

Conflict of Interest

The author declare no conflict of interest.

Sources of Funding

The study was not supported by sponsors.

References

1. Onischenko GG, Romanovich IK, Istorik OA, Vodovatov AV, Biblin AM, Kormanovskaya TA. On the 125th anniversary of the discovery of radioactivity: history of development and current state of regulation of the provision of the radiation safety of the public. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4): 6–16. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-6-16. (In Russian)
2. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation exposure doses to the population of the Russian Federation in 2020. St. Petersburg; 2021. 83 p. (In Russian)
3. Protection against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). Pergamon Press; 1993. 45 p.
4. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4); 2007. 332 p.
5. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40 (1); 2010. 64 p.
6. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43 (3); 2014. 73 p.
7. Garcia-Talavera M, Mrdakovic Popic J, Görts P, Pepin S, Jones K. Application of the concepts of exemption and clearance to the regulation of naturally occurring radioactive material (NORM) across HERCA countries. HERCA Report 2021, HERCA WG NAT. HERCA; 2021. 58 p.
8. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. IAEA safety standards series no. GSR Part 3. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. 436 p.
9. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *Official Journal of the European Union*. 7.11.2013;57(13): 73.
10. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. New York: United Nations; 2008. 334 p.
11. Kiselev SM, Zhukovsky MV. Modern approaches to public protection against indoor radon. International regulatory experience. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4): 52–55. (In Russian)
12. Yarmoshenko IV, Onishchenko AD, Zhukovsky MV. Problems of establishing national reference level for radon. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4): 67–69. (In Russian)
13. Romanovich IK, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. On the justification of changes in the regulation of the indoor radon concentration. *Zdorovie naseleniya i sreda obitaniya = Public Health and Life Environment*. 2019;6 (315): 42–48. DOI: 10.35627/2219-5238/2019-315-6-42-48. (In Russian)
14. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. Evaluation of indoor radon equilibrium factor in operated public buildings. In: Current Issues of Epidemiology, Microbiology and Hygiene. Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists of Rospotrebnadzor; 2021 Sep 15-17; Ekaterinburg. Ekaterinburg: FBUN EMNTs POZRPP Rospotrebnadzora; 2021: 109–111. (In Russian)
15. Markin NS, Korolkov AT. Geochemical characteristics of the soils of the most polluted part of Baley (Zabaykalsky Krai). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle = The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*. 2021;35: 71–83. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.35.71. (In Russian)
16. Korolkov AT. Monazite problem of the city of Baley. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle RAEN = The Bulletin of the Siberian Branch of the Section of the Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2016;1(54): 96–103. (In Russian)
17. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. 541 p.
18. Management of radioactivity in drinking-water. Geneva: World Health Organization; 2018. 104 p.
19. Council Directive 2013/51/Euratom of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption. *Official Journal of the European Union*. 7.11.2013;296: 10.

Received: April 29, 2022

For correspondence: Tatyana A. Kormanovskaya – Ph.D. in Biological Sciences, Leading researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: f4dos@mail.ru)

For citation: Kormanovskaya T.A. Comparative analysis of Russian and international approaches to radiation safety related to exposure to natural sources of radiation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 40-49. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-40-49

Анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным рекомендациям МКРЗ

А.Б. Соколова, А.В. Ефимов, А.Б. Джунушалиев

Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озерск, Россия

Индивидуальный дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония в организм, производится методом биофизического обследования, при котором выполняются измерения содержания изотопов плутония в пробах суточного количества мочи. Далее для оценки нормируемых величин (ожидаемой эффективной дозы и поступления) используются биокинетические и дозиметрические модели. Действующие в настоящее время основные документы Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности опираются на требования и подходы, изложенные Международной комиссией по радиологической защите в Публикациях 68, 78. При внедрении в практику требований Публикации 130 возникнет необходимость в актуализации отечественных методических документов новым требованиям. Целью данной работы был анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным требованиям Международной комиссии по радиологической защите, изложенным в Публикации 130, на примере условий производства «Производственного объединения «Маяк»». В результате исследования определены величины пределов годового поступления плутония на основании новых биокинетических и дозиметрических моделей, рассчитаны значения измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению предела ожидаемой эффективной дозы для персонала категорий А, Б и женщин в возрасте до 45 лет. Получено, что при введении новых требований Международной комиссии по радиологической защите для соединений типа П поступление более 1/4 предела годового поступления плутония может быть определено в течение года после поступления методом альфа-спектрометрии. Для определения поступления в 1/20 предела годового поступления при рекомендуемом интервале между измерениями 180 суток необходимо использовать метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Для персонала, работающего с труднорастворимыми соединениями плутония типа М, определение поступления одного предела годового поступления и 1/4 предела годового поступления возможно методом масс-спектрометрии, а 1/20 предела годового поступления — только еще более чувствительным методом.

Ключевые слова: плутоний, внутреннее облучение, индивидуальный дозиметрический контроль, биофизическое обследование.

Введение

Система контроля профессионального внутреннего облучения должна отвечать требованиям, выработанным международным профессиональным сообществом, и позволять получать достоверную информацию об индивидуальных дозах внутреннего облучения персонала для обеспечения выполнения требований норм ради-

ационной безопасности в части определения степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов¹ [1]. Нормативное и методическое обеспечение системы дозиметрического контроля включает ряд базовых документов, устанавливающих требования к методам определения индивидуальных доз облучения, планированию, организации и проведению

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534. [Radiation Safety Standards (RSS-99/2009): Sanitary Regulations and Standards SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by Decision No.47 of 07.07.2009 by Chief of Public Health of the Russian Federation. Registered in Ministry of Justice of the Russian Federation on 14 August, 2009, registration No.14534. (In Russ.)]

Соколова Александра Борисовна

Южно-Уральский институт биофизики

Адрес для переписки: 456783, Россия, Челябинская область, г. Озерск, Озерское шоссе, д. 19

дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала^{2,3}. Нормируемыми величинами при внутреннем облучении персонала в контролируемых условиях обращения с радиоактивными веществами в открытом виде являются: ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения (ОЭД) и величина поступления в организм работника через органы дыхания соединений радионуклида, отнесенного к типу химического соединения при ингаляции и дисперсности вдыхаемых аэрозолей.

Определение индивидуальных доз внутреннего облучения осуществляется в 2 этапа, заключающихся в:

- выполнении измерений содержания (активности) радионуклидов прямым методом дозиметрии (*in vivo*) во всем теле человека или отдельных его органах путем измерения на спектрометре излучения человека; либо косвенным методом дозиметрии (*in vitro*) в экскретатах (моча или кал) или других пробах биологического происхождения;

- интерпретации результатов указанных измерений, т.е. определении значений величин поступления радионуклидов за год и ОЭД внутреннего облучения с использованием биокинетических и дозиметрических моделей.

Нормы и Правила радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ 99/2010), действующие в Российской Федерации⁴, опираются на требования и подходы, изложенные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) в Публикациях 68, 78, в которых для оценки основных нормируемых величин использованы биокинетические модели МКРЗ, представленные в Публикациях 30, 66, 67 [2–8]. При внедрении в практику современных требований МКРЗ отечественные методические документы должны быть актуализированы с учетом новых подходов и новых биокинетических и дозиметрических моделей, представленных МКРЗ в Публикациях 130, 134, 137, 141 [9–12].

Цель исследования – анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным требованиям МКРЗ. Исследование выполнялось на примере условий производства ФГУП «ПО «Маяк»».

Задачи исследования

Определение значений нормируемых величин, а именно предела годового поступления (ПГП), на основании новых подходов МКРЗ, а также анализ возможности использования применяемых методов измерений для целей индивидуального дозиметрического контроля в случае внедрения новых требований МКРЗ.

Результаты и обсуждение

Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения, обусловленного поступлением актинидов в организм работников ФГУП «ПО «Маяк»», осуществляется двумя методами – методом биофизического обследования, при котором выполняются измерения содержания изотопов ²³⁸Pu и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в пробах суточного количества мочи (СКМ), и путем обследования на спектрометре излучения человека (СИЧ), при котором проводятся измерения содержания ²⁴¹Am в легких на установках СИЧ. Для оценки величины поступления используются биокинетические модели МКРЗ (далее стандартные модели МКРЗ): в Публикации 66 МКРЗ представлена модель дыхательного тракта (HRTM – the ICRP human respiratory tract model), в Публикации 30 МКРЗ – модель желудочно-кишечного тракта (GITM – gastrointestinal tract model), в Публикации 67 МКРЗ – модель, описывающая поведение радионуклидов, попавших в кровь [3, 5, 6].

В настоящее время МКРЗ выпустила новую серию публикаций OIR (the Occupational Intakes of Radionuclides), включающую Публикации 130, 134, 137, 141 (далее OIR-модели) [9–12]. Данные работы, в которых описывается оценка поступления, биокинетические и дозиметрические модели, методы индивидуального мониторинга, а также базовые аспекты ретроспективных оценок доз, заменяют Публикации 30, 68 и 78 [2, 3, 7, 8]. В Публикациях 134, 137, 141 предоставлены данные об отдельных элементах и их изотопах, в том числе информация о химических формах, значения параметров биокинетической модели, данные о методах контроля поступления радионуклидов, встречающихся в условиях профессионального контакта с источниками ионизирующего излучения. В Публикации 130 МКРЗ представлена модифицированная модель дыхательного тракта, предложенная вместо модели Публикации 66 МКРЗ [9, 5]. Основные характеристики модели остались неизменными, большая часть изменений коснулась механического клиренса частиц.

Пересмотренные данные по ингаляции, заглатыванию, системной биокинетике для плутония представлены в Публикации 141 МКРЗ, в которой опубликованы обновленные значения параметров для соединений плутония, в том числе добавлены новые формы соединений – наночастицы, МОКС-соединения [12]. Модель желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) Публикации 30 МКРЗ [2] HATM (the ICRP human alimentary tract model) заменена на модель ЖКТ, представленную в Публикации 100 МКРЗ [13]. В отличие от модели Публикации 30 МКРЗ, новая HATM рассматривает все области ЖКТ, включая пищевод и полость

² МУ 2.6.1.065-2014. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования. Москва, 2014. 46 с. [Methodological Guidelines 2.6.1.065-2014. Dosimetry control of occupational internal exposure. General requirements. Moscow, 2014. 46 p. (In Russ.)]

³ МУ 2.6.5.028-2016. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в условиях планируемого облучения. Общие требования. Москва, 2016. 108 с. [Methodological Guidelines 2.6.5.028-2016. Determination of individual effective and equivalent doses and organization of the control of occupational exposure under the conditions of the planned exposure. General requirements. Moscow, 2016, 108 p. (In Russ.)]

⁴ СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы (в редакции изменения № 1, утвержденного Постановлением Главного государственного врача Российской Федерации от 16.09.2013 г. № 43). Зарегистрировано Минюстом России 05.11.2013, регистрационный № 30309. [Sanitary Regulations 2.6.1.2612-10. Basic sanitary rules for radiation safety (BSRRS 99/2010): Sanitary regulations and standards (as amended to Change No.1 approved by Decision No.43 of 16 September 2013 by Chief of Public Health of the Russian Federation). Registered in Ministry of Justice of the Russian Federation on 05.11.2013, registration No.30309. (In Russ.)]

рта, введены новые камеры стенок органов ЖКТ с возможным поглощением и выведением в кровь.

Согласно НРБ-99/2009, для целей нормирования поступления радионуклидов через органы дыхания в форме радиоактивных аэрозолей их химические соединения разделены на 3 типа в зависимости от скорости перехода радионуклида из легких в кровь: тип М (медленно растворимые соединения), тип П (соединения, растворимые с промежуточной скоростью), тип Б (быстро растворимые соединения). Соединения ^{239}Pu отнесены к типам П и М.

На рисунках 1–4 представлены функции удержания и выведения ^{239}Pu при однократном ингаляционном поступлении для стандартных моделей МКРЗ и OIR-модели для соединений типа П и М с активностным медианным аэродинамическим диаметром (АМАД) 1 и 5 мкм.

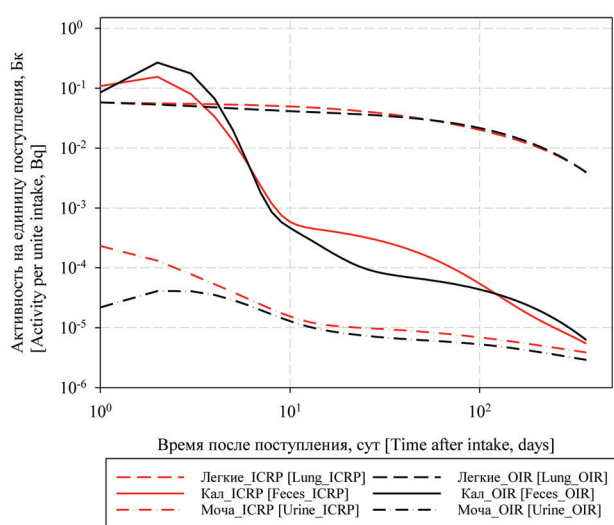


Рис. 1. Функции удержания и выведения ^{239}Pu типа П АМАД 5 мкм согласно стандартным моделям МКРЗ и OIR-модели [Fig. 1. Functions of retention and excretion of Type M ^{239}Pu with 5 μm AMAD in accordance with standard ICRP models and OIR model]

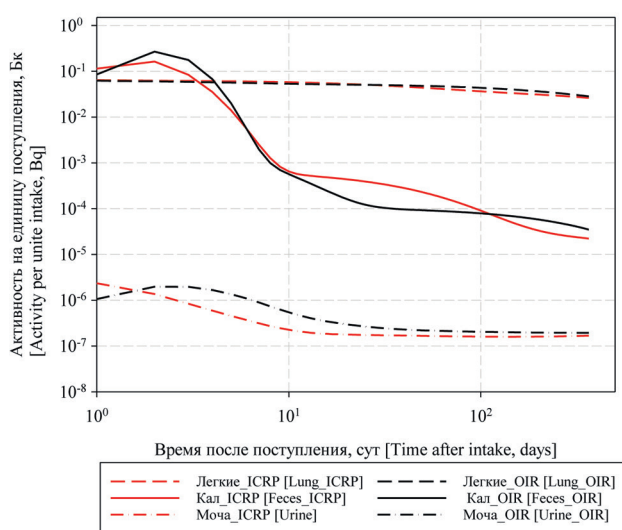


Рис. 2. Функции удержания и выведения ^{239}Pu типа М АМАД 5 мкм согласно стандартным моделям МКРЗ и OIR-модели [Fig. 2. Functions of retention and excretion of Type S ^{239}Pu with 5 μm AMAD in accordance with standard ICRP models and OIR model]

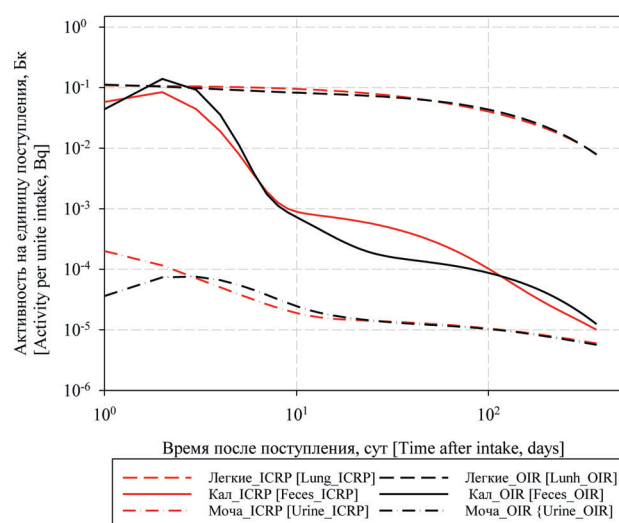


Рис. 3. Функции удержания и выведения ^{239}Pu типа П АМАД 1 мкм согласно стандартным моделям МКРЗ и OIR-модели [Fig. 3. Functions of retention and excretion of Type M ^{239}Pu with 1 μm AMAD in accordance with standard ICRP models and OIR model]

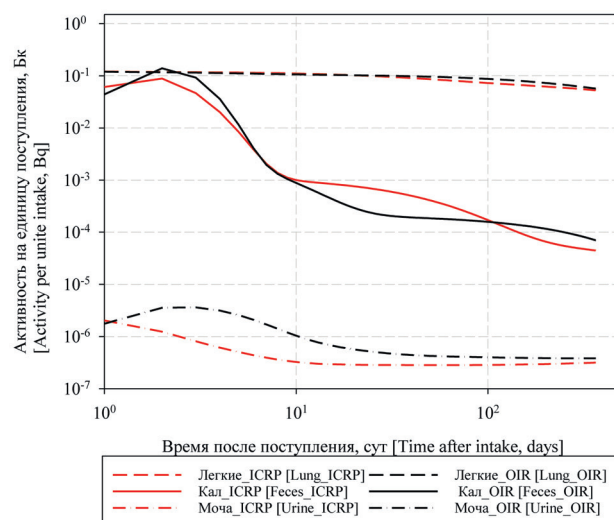


Рис. 4. Функции удержания и выведения ^{239}Pu типа М АМАД 1 мкм согласно стандартным моделям МКРЗ и OIR-модели [Fig. 4. Functions of retention and excretion of Type S ^{239}Pu with 1 μm AMAD in accordance with standard ICRP models and OIR model]

Из данных рисунков 1–4 следует, что основные различия динамики выведения ^{239}Pu (до порядка величины) для сравниваемых моделей наблюдаются в первые 30 суток после поступления, с увеличением сроков после поступления скорость выведения различается в 1,2–2 раза.

В таблице 1 представлены дозовые коэффициенты перехода от оценок поступления к оценкам ОЭД внутреннего облучения, приведенные в Публикации 68 МКРЗ для стандартной модели МКРЗ [7] и Публикации 141 для OIR-модели [12, 14]. Значения дозовых коэффициентов рассчитываются с использованием разработанных для целей дозиметрии внутреннего облучения и рекомендованных МКРЗ биокинетических и дозиметрических моделей органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, костной

ткани и биокинетики химических элементов в организме условного человека. При расчете дозовых коэффициентов также используются значения коэффициентов качества ионизирующего излучения и взвешивающих коэффициентов для тканей и органов.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются 2 класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД);
- допустимые уровни монофакторного воздействия, являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые допустимые удельные активности (ДУА) и др.¹ Предел годового поступления – уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы³. Для персонала категории А устанавливается ПД в 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год¹. В НРБ-99/2009 значения дозовых коэффициентов, а также величин ПГП рассчитаны для аэрозолей с логарифмически нормальным распределением частиц по активности при медианном по активности аэродинамическом диаметре 1 мкм и стандартном геометрическом отклонении, равном 2,5. Соответствующие пределы годового поступления на основании стандартной модели МКРЗ, установленные в настоящее время НРБ-99/2009 и рассчитанные для OIR-модели, представлены в таблице 2.

Согласно требованиям НРБ-99/2009, для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения, в том числе поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала¹. Для персонала группы Б основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия, устанавливаются равными 1/4 значений, введенных для персонала группы А. Рекомендованный максимальный период между измерениями активности соединений ²³⁹Pu в моче и кале при проведении текущего ИДК составляет 180 суток². В таблице 3 приведены значения измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 20 мЗв (1 ПГП), равному 5 мЗв (1/4 ПГП) и равному 1 мЗв (1/20 ПГП).

В практике аппаратно-методического обеспечения ИДК внутреннего облучения, обусловленного поступлением актинидов, широкое применение находит альфа-спектрометрический метод измерения. Альфа-спектрометрия используется для определения ²³⁸Pu и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. Из-за близких энергий альфа-частиц ²³⁹Pu и ²⁴⁰Pu альфа-спектрометры не способны разрешить эти пики, и измеряется сумма изотопов. Порог измерения (L_c) альфа-спектрометрического метода измерения составляет 0,7 мБк в СКМ⁵. В последние годы вследствие достигнутого высокого уровня радиационной безопасности в контролируемых условиях использование альфа-спектрометрического метода не всегда удовлет-

Значения дозовых коэффициентов для соединений ²³⁹Pu, Зв/Бк

Таблица 1

[Table 1

Values of dose coefficients for ²³⁹Pu compounds, Sv/Bq]

Тип химического соединения при ингаляции [Type of a chemical compound inhaled]	Стандартная модель МКРЗ [Standard ICRP model] [7]		OIR-модели [OIR models] [12, 14]	
	1 мкм [1 μm]	5 мкм [5 μm]	1 мкм [1 μm]	5 мкм [5 μm]
Тип П [type M]	4,7×10 ⁻⁵	3,2×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻⁵	1,4×10 ⁻⁵
Тип М [type S]	1,5×10 ⁻⁵	8,3×10 ⁻⁶	3,1×10 ⁻⁵	1,7×10 ⁻⁵

Таблица 2

Предел годового поступления (ПГП) соединений ²³⁹Pu, Бк

[Table 2

Annual limit of intake (ALI) of ²³⁹Pu compounds, Bq]

Тип химического соединения при ингаляции [Type of a chemical compound inhaled]	Стандартная модель МКРЗ [Standard ICRP model] [7]		OIR-модели [OIR models] [12, 14]	
	1 мкм [1 μm]	5 мкм [5 μm]	1 мкм [1 μm]	5 мкм [5 μm]
Тип П [type M]	4,3×10 ² (7,8×10 ^{1*})	6,3×10 ²	8,0×10 ²	1,4×10 ³
Тип М [type S]	1,3×10 ³	2,4×10 ³	6,5×10 ²	1,2×10 ³

* В НРБ-99/2009 сохранены значения ПГП, приведенные в НРБ-76/87, в связи с достигнутым уровнем безопасности на предприятиях России. Эти значения ниже, чем значения, полученные с использованием дозовых коэффициентов [* RSS-99/2009 maintains the ALI values provided in RSS-76/87 due to the safety level achieved at the facilities in Russia. These values are lower than those obtained using the dose coefficients].

⁵ МВИ. Методика выполнения измерений изотопов плутония, америция, урана и тория в биосубстратах на спектрометре альфа-излучения системы EG&G ORTEC OCTETE PC. Свидетельство № 40090.5H304 от 18.05.2005 г., выдано ФГУП ВНИИФТРИ. Озерск, 2006. 24 с. [Methodology for measurement of plutonium, americium, uranium and thorium isotopes in biosubstrates using EG&G ORTEC OCTETE PC alpha-radiation spectrometer. Certificate No.40090.5H304 of 18 May 2005, issued by FSUE VNIIFTRI (The Federal State Unitary Enterprise «Russian metrological institute of technical physics and radio engineering»). Ozersk, 2006. 24 p. (In Russ.)].

Таблица 3

Значения измеряемых величин при проведении текущего дозиметрического контроля, соответствующие значению ОЭД, равному 20 мЗв, 5 мЗв и 1 мЗв при АМАД 1 мкм при максимальном периоде между измерениями активности 180 суток

[Table 3]

Values measured during a routine dosimetry monitoring corresponding to CED of 20 mSv, 5mSv and 1 mSv for 1 µm AMAD with the maximum period of 180 days between measurements of activity]

Тип химического соединения при ингаляции [Type of a chemical compound inhaled]	Стандартная модель МКРЗ [Standard ICRP model] [7]		OIR-модели [OIR models] [12, 14]	
	Активность в суточном количестве мочи, Бк [Activity in daily urine, Bq]	Активность в суточном количестве кала, Бк [Activity in daily feces, Bq]	Активность в суточном количестве мочи, Бк [Activity in daily urine, Bq]	Активность в суточном количестве кала, Бк [Activity in daily feces, Bq]
<i>Соответствующие ОЭД 20 мЗв [Corresponding to CED of 20 mSv]</i>				
Тип П [type M]	3,6×10 ⁻³ (6,6×10 ^{-4*})	1,4×10 ⁻² (2,5×10 ^{-3*})	6,5×10 ⁻³	3,8×10 ⁻²
Тип М [type S]	3,9×10 ⁻⁴	9,9×10 ⁻²	2,5×10 ⁻⁴	8,0×10 ⁻²
<i>Соответствующие ОЭД 5 мЗв [Corresponding to CED of 5 mSv]</i>				
Тип П [type M]	9,0×10 ⁻⁴ (1,6×10 ^{-4*})	3,5×10 ⁻³ (6,4×10 ^{-4*})	1,6×10 ⁻³	9,4×10 ⁻³
Тип М [type S]	9,8×10 ⁻⁵	2,5×10 ⁻²	6,2×10 ⁻⁵	2,0×10 ⁻²
<i>Соответствующие ОЭД 1 мЗв [Corresponding to CED of 1 mSv]</i>				
Тип П [type M]	1,8×10 ⁻⁴ (3,3×10 ^{-5*})	7,0×10 ⁻⁴ (1,3×10 ^{-4*})	3,3×10 ⁻⁴	1,9×10 ⁻³
Тип М [type S]	2,0×10 ⁻⁵	4,9×10 ⁻³	1,2×10 ⁻⁵	4,0×10 ⁻³

* Согласно установленным НРБ-99/2009 значениям ПГП [*according to the ALI values established by RSS-99/2009].

воряет требованиям контроля внутреннего облучения от плутония. Большой потенциал в качестве более чувствительного метода измерений активности плутония в биосубстратах имеет новый метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Методом ИСП-МС (ICP-MS) достигается порог измерения 0,1 и 0,2 мБк в СКМ для изотопов ²³⁹Pu и ²⁴⁰Pu соответственно⁶. В общем случае метод ИСП-МС обладает преимуществом перед альфа-спектрометрией для изотопов ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu и ²⁴²Pu. Тем не менее, вследствие присутствия на многих радиационно-опасных производствах ²³⁸Pu (а также ²⁴¹Am) при проведении ИДК целесообразно комбинировать методы альфа-спектрометрии и ИСП-МС.

На рисунках 5 и 6 представлена динамика выведения ²³⁹Pu с мочой при поступлении 1 ПГП соединений типа П (а) и типа М (б) с АМАД 1 мкм (рис. 5) и АМАД 5 мкм (рис. 6) в сравнении с порогом измерения двух методов измерения – альфа-спектрометрического (α-spectrometry) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

Как видно на рисунках 5 и 6, при введении новых подходов МКРЗ для соединений типа П поступление 1 ПГП плутония может быть определено в течение года после

поступления методом альфа-спектрометрии. Метод альфа-спектрометрии позволяет измерить активность в СКМ от поступления 1/4 ПГП при периоде контроля 180 сут, для определения поступления в 1/20 ПГП при рекомендуемом интервале между измерениями 180 сут необходимо использовать метод ИСП-МС.

Для персонала, работающего с труднорастворимыми соединениями плутония, определение поступления 1 ПГП при рекомендуемом интервале между измерениями 180 сут возможно только более чувствительным методом ИСП-МС.

Заключение

В случае внедрения в практику требований Публикации 130 МКРЗ без учета достигнутых уровней безопасности на предприятиях России (в НРБ-99/2009 для соединений с АМАД 1 мкм сохранены значения ПГП ниже, чем значения, полученные с использованием дозовых коэффициентов), предел годового поступления ²³⁹Pu для соединений типа П с АМАД 1 мкм увеличится на порядок. Для соединений типа М с АМАД 1 мкм и 5 мкм предел годового поступления ²³⁹Pu уменьшится в 2 раза.

⁶ СП-21-3-2021. Методика измерений плутония-239, 240 и изотопов урана-235, 238 в биологических пробах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Свидетельство о метрологической аттестации № СП-21-3-РА.RU.311952-2021, выдано ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.А. Забабахина. [Company-specific Standard-21-3-2021. Measurement technique for plutonium-239, 240 and uranium-235, 238 isotopes in biological samples using mass spectrometry with inductively-coupled plasma. Calibration certificate No. СП-21-3-РА.RU.311952-2021 issued by FSUE Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics. Ozersk, 2021. 38 p. (In Russ.)].

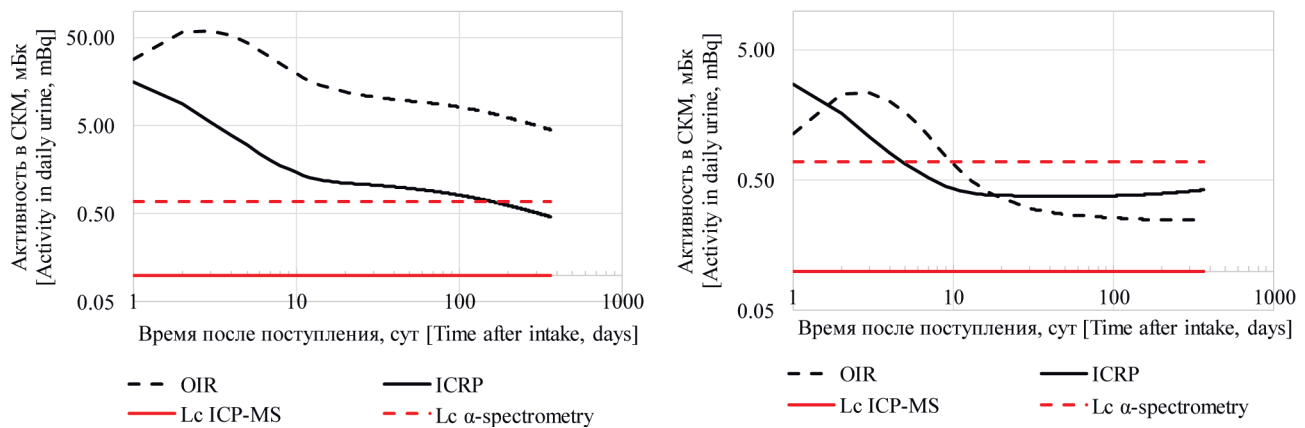


Рис. 5. Активность в суточном количестве мочи (СКМ) при поступлении 1 ПГП ^{239}Pu соединений типа П (а) и типа М (б) АМАД 1 мкм
[Fig. 5. Activity in daily urine at intake of 1 ALL of Type M (a) and Type S (b) ^{239}Pu with AMAD of 1 μm]

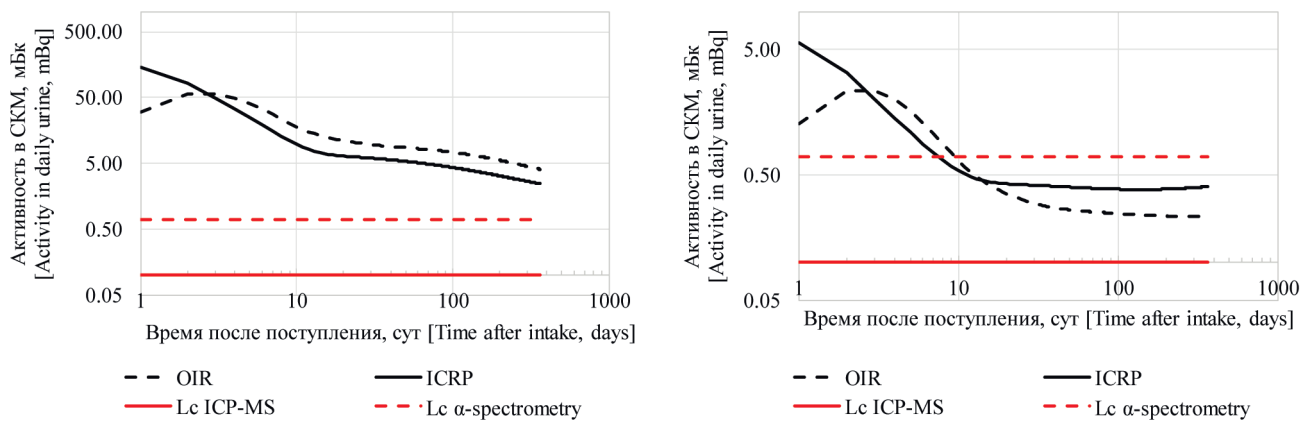


Рис. 6. Активность в суточном количестве мочи (СКМ) при поступлении 1 ПГП ^{239}Pu соединений типа П (а) и типа М (б) АМАД 5 мкм
[Fig. 6. Activity in daily urine at intake of 1 ALL of Type M (a) and Type S (b) ^{239}Pu with AMAD of 5 μm]

При введении новых требований Международной комиссии по радиологической защите для соединений плутония типа П поступление более 1/4 ПГП может быть определено в течение года после поступления методом альфа-спектрометрии. Для определения поступления в 1/20 ПГП при рекомендуемом интервале между измерениями 180 суток необходимо использовать метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой или другой метод измерения, обеспечивающий необходимый порог обнаружения. Для персонала, работающего с труднорастворимыми соединениями плутония, определение поступления 1 ПГП и 1/4 ПГП возможно методом масс-спектрометрии, а 1/20 ПГП только еще более чувствительным методом.

Личный вклад авторов

А.Б. Соколова осуществляла общее руководство выполнением работы, проанализировала данные, написала черновик рукописи и представила окончательный вариант в редакцию журнала.

А.В. Ефимов выполнил анализ литературных данных, отредактировал промежуточный вариант статьи.

А.Б. Джунушалиев выполнил сравнительный анализ функций удержания и выведения, отредактировал промежуточный вариант статьи.

Благодарности

Авторы благодарят рецензентов за тщательный анализ статьи.

Конфликт интересов

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

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Российской Федерации «Совершенствование методов контроля и изучение особенностей формирования доз внутреннего облучения персонала ФГУП «ПО «Маяк» и


населения прилегающих территорий» код-11.001.22.800
шифр «Луч-22», финансируемого ФМБА России.

Литература


1. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2–4).
2. ICRP, 1979a. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2(3/4).
3. ICRP, 1979b. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Supplement to Part 1. Ann. ICRP 3(1–4).
4. ICRP, 1980. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Part 2. Ann. ICRP 4(3/4).
5. ICRP, 1994a. Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24(1–3).
6. ICRP, 1993. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2. Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23(3/4).
7. ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24(4).
8. ICRP, 1997. Individual monitoring for internal exposure of workers – replacement of ICRP Publication 54. ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27(3/4).
9. ICRP, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2).
10. ICRP, 2016. Occupational intakes of radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4).
11. ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).
12. ICRP, 2019. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3).
13. ICRP, 2006. Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. Ann. ICRP 36(1/2).
14. ICRP, 2019. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3). Supplemental Material. OIR Data Viewer for P134, P137 and P141. v4010419. 2019 July 30. https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/ANIB_48_2-3. (Дата обращения: 10.08.2022)

Поступила: 12.05.2022 г.

Соколова Александра Борисовна – научный сотрудник Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 456783, Россия, Челябинская область, Озерск, Озерское шоссе, д. 19; E-mail: sokolova@subi.su

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-6036-4178>

Ефимов Александр Владимирович – заведующий отделом радиационной безопасности и дозиметрии Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-1110-6559>

Джунушалиев Артем Борисович – инженер-программист Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

Для цитирования: Соколова А.Б., Ефимов А.В., Джунушалиев А.Б. Анализ соответствия действующей системы индивидуального дозиметрического контроля внутреннего облучения, обусловленного поступлением плутония, актуальным рекомендациям МКРЗ // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 50-57. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-50-57

Analysis of correspondence between the current individual monitoring system of internal exposure caused by plutonium intake and the relevant ICRP recommendations

Alexandra B. Sokolova, Alexander V. Efimov, Artem B. Dzhunushaliev

Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency, Ozersk, Russia

Individual dosimetry monitoring of occupational internal exposure due to plutonium intake is performed by the bioassay method which measures the plutonium isotopes in daily urine samples. Then, to estimate normalized values (committed effective dose and intake), biokinetic and dosimetry models are used. The currently valid major instruments of radiation safety in the Russian Federation are based on the requirements and approaches outlined in Publications 68 and 78 of the International Commission on Radiobiological Protection. In implementing the requirements of Publication 130 there will be a need for updating the Russian

Alexandra B. Sokolova

Southern Urals Biophysics Institute

Address for correspondence: Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk oblast, Russia; E-mail: sokolova@subi.su

guidance documents to the new requirements. The purpose of this study was the analysis of correspondence of the current system of individual monitoring of internal exposure caused by plutonium intake to the relevant recommendations of the International Commission on Radiobiological Protection outlined in Publication 130 by the example of the FSUE "Mayak PA" production conditions. As a result of the study, the values of annual limit of plutonium intake were determined based on new biokinetic and dosimetry models, and the measured values were calculated during the current dosimetry monitoring corresponding to the value of committed effective dose limit for Category A, B personnel and women under 45 years of age. It was found that following the introduction of new requirements of the International Commission on Radiobiological Protection for Type M compounds, an intake of more than 1/4 of annual limit of plutonium intake could be determined within a year after intake using the method of alpha spectrometry. To determine an intake of 1/20 of annual limit of intake at the recommended interval of 180 days between measurements, it is necessary to use inductively-coupled plasma mass spectrometry. For the personnel working with insoluble compounds of plutonium, an intake of one annual limit of intake and 1/4 of annual limit of intake can be determined using mass spectrometry, and 1/20 of annual limit of intake can be determined using only a more sensitive method.

Key words: plutonium, internal exposure, individual monitoring, bioassay.

Personal participation of authors

A.B. Sokolova provided general management of the project, analyzed the data, wrote a draft of the manuscript and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

A.V. Efimov analyzed of the literature data, edited the intermediate version of the manuscript.

A.B. Dzhunushaliev carried out a comparative analysis of the retention and excretion functions, edited the intermediate version of the manuscript.

Acknowledgment

The authors would like to thank the reviewers for their thorough analysis of the article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest in the conducting of the work and preparation of this article.


Funding


The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Russian Federation "Improving methods of control and studying the features of the formation of internal doses for the personnel of "PA Mayak" and the population of adjacent territories" code-11.001.22.800 code "Luch-22", funded by the Federal Medical and Biological Agency of Russia.

References

1. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
2. ICRP, 1979a. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2(3/4).
3. ICRP, 1979b. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Supplement to Part 1. Ann. ICRP 3(1-4).
4. ICRP, 1980. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 30, Part 2. Ann. ICRP 4(3/4).
5. ICRP, 1994a. Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24(1-3).
6. ICRP, 1993. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2. Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23(3/4).
7. ICRP, 1994b. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Ann. ICRP 24(4).
8. ICRP, 1997. Individual monitoring for internal exposure of workers – replacement of ICRP Publication 54. ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27(3/4).
9. ICRP, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2).
10. ICRP, 2016. Occupational intakes of radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4).
11. ICRP, 2017. Occupational intakes of radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4).
12. ICRP, 2019. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3).
13. ICRP, 2006. Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. Ann. ICRP 36(1/2).
14. ICRP, 2019. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3). Supplemental Material. OIR Data Viewer for P134, P137 and P141. v4010419. 2019 July 30. https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/ANIB_48_2-3. (Accessed: August 10, 2022).

Received: May 12, 2022

For correspondence: Alexandra B. Sokolova – Researcher, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency (Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk oblast, Russia; E-mail: sokolova@subi.su
ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-6036-4178>

Alexander V. Efimov – Head of Department of Radiation Safety and Dosimetry, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency, Ozersk, Russia
ORCID  <https://orcid.org/0000-0003-1110-6559>

Artem B. Dzhunushaliev – Programmer engineer, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency, Ozersk, Russia

For citation: Sokolova A.B., Efimov A.V., Dzhunushaliev A.B. Analysis of correspondence between the current individual monitoring system of internal exposure caused by plutonium intake and the relevant ICRP recommendations. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 50-57. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-50-57

Оценка годовой эффективной дозы внешнего облучения в лесах юго-западных районов Брянской области России: 2015–2021 гг.

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

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

Во время пребывания в радиоактивно загрязненном лесу человек неизбежно подвергается дополнительному внешнему облучению от техногенных радионуклидов. Целью настоящего исследования являлась оценка компонента эффективной дозы внешнего облучения населения, обусловленного его пребыванием в лесах, которые были загрязнены в результате Чернобыльской аварии. Исследование было выполнено в юго-западных районах Брянской области России в период 2015–2021 гг. На 46 лесных площадках, расположенных в ареалах 27 населенных пунктов, были проведены полевые (in situ) гамма-спектрометрические измерения. Расстояние между лесной площадкой и центром ближайшего населенного пункта варьировало от 0,2 до 3,3 км (средняя = 1,4 км). На 01.01.2017 г. официально установленные значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs территории самих населенных пунктов находились в диапазоне от 33 до 2050 кБк/м². По данным полевой гамма-спектрометрии значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на лесных площадках варьировали от 21 до 1930 кБк/м². Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs лесу хорошо соответствовала официально установленной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в близлежащем населенном пункте: отношение одного показателя к другому находилось в диапазоне от 0,70 до 1,32 (средняя = 0,94; медиана = 0,95). Разброс измеренных значений мощности амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs в лесу был весьма значителен: более чем на один порядок величины, от 31 до 2700 нЗв/ч. Изменчивость мощности амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов была сравнительно невелика: от 13 до 29 нЗв/ч. На основании полученных экспериментальных данных и опубликованных значений продолжительности пребывания человека в лесу был оценен соответствующий компонент эффективной дозы внешнего облучения для нескольких групп местного населения. Эффективная доза внешнего облучения от природных радионуклидов даже в случае весьма длительного пребывания в лесу (1400 ч в год для лесников) не превышала 0,02 миллизиверта в год. Оцененные значения дозы облучения от ^{137}Cs варьировали очень широко – от 0,001 до 1,9 мЗв/год в зависимости от выбранного лесного участка и группы населения. В целом, полученные данные свидетельствуют о том, что официально установленные значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в населенном пункте можно напрямую использовать в дозиметрических моделях для оценки компонента эффективной дозы внешнего облучения человека, обусловленного его нахождением в лесу, который расположен в ареале данного населенного пункта. При этом в настоящее время для Брянской области рекомендуемый коэффициент перехода от плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в населенном пункте к мощности амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs в близлежащем лесу равен 1,28 (нЗв/ч)/(кБк/м²). Для оценки эффективной дозы внешнего облучения от природных радионуклидов в лесу рекомендуется использовать значение мощности амбиентного эквивалента дозы, равное 21 нЗв/ч.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, ^{137}Cs , лес, плотность загрязнения почвы, природные радионуклиды, мощность амбиентного эквивалента дозы, эффективная доза.

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная часть (около 30% из 1 230 000 га) территории государственного лесного фонда Брянской области оказалась загрязненной техногенными радионуклидами (РН) [1], из которых в настоящее время основным дозообразующим РН является ^{137}Cs [2]. В 2012 г. площадь территорий лесов с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs (A_{Cs})

свыше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) составляла 228 900 га [2]. Наибольшие значения A_{Cs} были зарегистрированы на юго-западе области в пределах Гордеевского, Злынковского, Красногорского и Новозыбковского районов. По данным [2], на 2018 г. общая площадь лесов, загрязненных свыше 555 кБк/м², составила в этих районах 13 753 га, а на площади 829 га (Новозыбковский и Красногорский районы) значение A_{Cs} превышало величину 1480 кБк/м².

Рамзаев Валерий Павлович

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

Лесные угодья с A_{Cs} выше 555 kBк/м^2 находятся также в Клинцовском районе [3].

Несмотря на сравнительно высокие уровни радиоактивного загрязнения определенных территорий России ^{137}Cs после аварии на ЧАЭС, «лесохозяйственную деятельность на этих территориях приостановить невозможно, так как леса играют важное экологическое, социальное и экономическое значение» [4]. В частности, леса традиционно используются местным населением для сбора грибов, ягод и лекарственных дикоросов, а также для выпаса скота и охоты. Согласно ГОСТ Р 22.11.06-2014¹, для обеспечения соблюдения установленных нормами радиационной безопасности пределов доз облучения населения и работников лесного хозяйства при использовании лесов, загрязненных ^{137}Cs (плотность загрязнения почвы в текущем году свыше 37 kBк/м^2), необходимо проводить комплексные защитные и реабилитационные мероприятия. К одному из основных организационно-технических защитных мероприятий относится периодический мониторинг радиационной обстановки в лесных массивах [4], который в соответствии с ГОСТ Р 22.11.06-2014 включает в себя определение мощности дозы ионизирующего излучения (МД, мкЗв/ч), плотности радиоактивного загрязнения почвы (kBк/м^2), плотности потока бета-частиц ($1/\text{с}\times\text{см}^2$) и удельной активности РН в лесных ресурсах (Bк/кг).

Наличие актуализированных сведений о плотности загрязнения почвы РН, мощности дозы гамма-излучения в воздухе и содержании РН в компонентах лесной экосистемы позволяют оценить эффективную дозу внешнего облучения человека в случае его нахождения в лесу и эффективную дозу внутреннего облучения человека при потреблении пищевых продуктов, имеющих свое происхождение из леса. Такие оценки могут быть сделаны напрямую для конкретного участка (площадки) леса или лесного массива, находящегося вблизи (в ареале) определенного населенного пункта (НП), по результатам измерений МД в воздухе и удельной активности РН в почве и в лесных ресурсах (например, [5, 6]). Однако для обширных территорий и сотен НП, до сих пор загрязненных радионуклидами после аварии на ЧАЭС [7], задача оценки годовой эффективной дозы облучения человека от этого техногенного источника ионизирующего излучения может быть решена только на

основе использования моделей, которые учитывают усредненные и нормированные на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs значения МД и удельной активности ^{137}Cs в пищевых продуктах. Численные значения параметров моделей устанавливаются на основании результатов представительных измерений МД в воздухе в основных локациях и удельной активности РН в пищевых продуктах местного происхождения, а также по данным опросов местных жителей о продолжительности их пребывания в различных локациях внутри и вне НП и об объемах потребления различных пищевых продуктов². Учитывая то обстоятельство, что в отдаленный период после аварии на ЧАЭС численные значения параметров моделей меняются медленно, эти значения следует пересматривать 1 раз в 3 года по результатам выборочных радиационно-гигиенических обследований, определенных в МУ 2.6.1.2003-05³. В модельных расчетах в соответствии с МУ 2.6.1.2003-05 одним из ключевых параметров является плотность загрязнения почвы территории НП ^{137}Cs , которая официально устанавливается Росгидрометом в текущем году. При вычислении годовой эффективной дозы численное значение этого показателя по умолчанию принимается одинаковым для всех локаций, вне зависимости от их расположения – внутри НП (огород, жилой дом, двор, улица, производственные постройки) или в его ареале (лес, пахотное поле, луг). Не совсем ясно, насколько справедлив такой обобщающий подход в отношении локаций, расположенных за границей НП. Хотя в приказе Росгидромета № 460 по определению плотности радиоактивного загрязнения почв территорий населенных пунктов вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС⁴ и есть упоминание об ареале НП, плотность радиоактивного загрязнения почвы в НП вычисляется по результатам анализа проб, отобранных именно на территории НП. То есть используются «данные проведенных обследований радиоактивного загрязнения почв территорий населенных пунктов, а также информация Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении (ЕГФД) о содержании радиоактивных веществ в почве на территории населенных пунктов Российской Федерации» (Приказ Росгидромета № 460).

Цель исследования – оценка компонента эффективной дозы внешнего облучения человека, обусловленного

¹ ГОСТ Р 22.11.06-2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях. Безопасное использование лесов на землях лесного фонда и иных категорий. Общие требования. [GOST R 22.11.06-2014. Safety in emergencies. Life safety of population in radioactive nuclide contaminated areas. Safe use of forests and forest lands of other categories. General requirements. (In Russ.).]

² МУ 2.6.1.784-99. Зонирование населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, по критерию годовой дозы облучения населения. Методические указания. Минздрав России. Москва. 1999. [MU 2.6.1.784-99. Zoning of the settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, according to the criterion of the annual dose of exposure to the population. Methodical instructions. Ministry of Health of Russia. Moscow. 1999. (In Russ.).]

³ МУ 2.6.1.2003-05. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Методические указания. Роспотребнадзор. 2005. [MU 2.6.1.2003-05. Estimation of the average annual effective doses of exposure of critical groups of residents of settlements of the Russian Federation exposed to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Methodical instructions. Rospotrebnadzor. 2005. (In Russ.).]

⁴ Приказ Росгидромета от 31.10.2018 г. № 460 «Об утверждении Порядка определения плотности радиоактивного загрязнения почв территорий населенных пунктов вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (зарегистрировано в Минюсте России 14.01.2019 г. № 53344). [Order of Roshydromet dated October 31, 2018 N 460 "On approval of the Procedure for determining the density of radioactive contamination of soils in the territories of settlements as a result of the Chernobyl disaster" (Registered by the Ministry of Justice of Russia on January 14, 2019 N 53344). (In Russ.).]

его пребыванием в лесах, которые расположены в юго-западных районах Брянской области.

Задачи исследования

1. Выполнить полевые (*in situ*) гамма-спектрометрические измерения в лесах вблизи НП, существенно различающихся по значениям официально установленной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-НП}}$, кБк/м²).

2. Используя измеренные гамма-спектры, определить значения общей мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД_{сум}, нЗв/ч), мощности амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов (МАЭД_{ПРН}, нЗв/ч), мощности амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs (МАЭД_с, нЗв/ч), мощности амбиентного эквивалента дозы от первичных фотонов с энергией 662 кэВ (МАЭД_{с-пер}, нЗв/ч).

3. По результатам полевой гамма-спектрометрии вычислить плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в лесу ($A_{\text{Cs-лес}}$, кБк/м²) и среднюю глубину миграции радионуклида в почве (Z_{Cs} , г/см²).

4. Сравнить $A_{\text{Cs-лес}}$ на лесной площадке с $A_{\text{Cs-НП}}$ в близлежащем НП.

5. Вычислить «лесной» компонент годовой эффективной дозы внешнего облучения человека.

Материалы и методы

Измерения *in situ* были выполнены в период 2015–2021 гг. в общей сложности на 46 лесных площадках, расположенных в ареалах 27 НП Гордеевского, Злынковского, Климовского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов (табл. 1). На 01.01.2017 г. официально установленные [7] значения плотности загряз-

Таблица 1

Официально установленная [7] средняя плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в населенных пунктах Брянской области ($A_{\text{Cs-НП}}$) и экспериментально определенная плотность загрязнения почвы ^{137}Cs на близлежащих лесных участках ($A_{\text{Cs-лес}}$), обследованных в 2015–2021 гг. с использованием дозиметра-спектрометра АТ6101Д. Данные приведены на 01.01.2017 г.

[Table 1

The officially established [7] average value of soil contamination density with ^{137}Cs in the settlements of the Bryansk region ($A_{\text{Cs-set}}$), and the experimentally determined soil contamination density with ^{137}Cs in the nearby forest plots ($A_{\text{Cs-for}}$) surveyed in 2015–2021 using the dosimeter-spectrometer АТ6101D. The values are given as of 01.01.2017]

Населенный пункт [Settlement]	$A_{\text{Cs-НП}}$ (кБк/м ²) [$A_{\text{Cs-set}}$ (kBq/m ²)]	$A_{\text{Cs-лес}}$ (кБк/м ²)* [$A_{\text{Cs-for}}$ kBq/m ²]*	Число участков [Number of plots]
<i>Гордеевский район [Gordeevka district]</i>			
Ипуть [Iput']	204	152 (141–163)	2
Смяльч [Smalch]	374	372 (347–408)	3
<i>Злынковский район [Zlynka district]</i>			
Добрынька [Dobryn'ka]	289	228 (196–260)	2
Муравинка [Muravinka]	555	562 (472–640)	6
<i>Климовский район [Klimovo district]</i>			
Хохловка [Khohlovka]	211	162	1
<i>Клинцовский район [Klincy district]</i>			
Буян [Buyan]	222	225	1
Веprin [Veprin]	429	569 (560–577)	2
Вьюнка [Viunka]	41	34 (33–35)	2
Кипень Ущерпский [Kipen' Uschepskiy]	396	465	1
Красная Заря [Krasnaya Zarya]	41	46	1
Лопатни [Lopatny]	122	108 (103–113)	2
Мизиричи [Mizirichi]	33	23	1
Ольховка [Ol'khovka]	222	155	1
Первое Мая [Pervoye Maya]	137	123	1
Песчанка [Peschanka]	52	44 (41–47)	2
Сосновка [Sosnovka]	44	33	1
Филатов Хутор [Filatov Khutor]	85	96	1
Ущерпье [Uscherpie]	348	352	1
<i>Красногорский район [Krasnaya Gora district]</i>			
Заборье [Zaborie]	2050	1710 (1540–1870)	2
Великоудебное [Velikoudebnoe]	400	399	1

Населенный пункт [Settlement]	A_{Cs-HP} (кБк/м ²) [A_{Cs-set} (кВq/м ²)]	$A_{Cs-лес}$ (кБк/м ²)* [A_{Cs-for} кВq/м ²]*	Число участков [Number of plots]
<i>Новозыбковский район [Novozybkov district]</i>			
Бабаки [Babaki]	1050**	1070	1
Деменка [Demenka]	592	536 (490–581)	2
Гривка [Grivka]	488	475	1
Мамай [Mamai]	352	317 (305–330)	2
Новозыбков [Novozybkov]	370	359	1
Новые Бобовичи [Novie Bobovichi]	555	602 (567–630)	3
Опытная Станция [Opytnaya Stansiya]	651	542 (481–603)	2

* – среднее значение (диапазон) [* – the mean value (range)]; ** – на основе работы [19] [** – based on the study [19]].

нения почвы территории самих НП ¹³⁷Cs (A_{Cs-HP}) в нашей выборке находились в диапазоне от 33 до 2050 кБк/м². Расстояние между лесной площадкой и центром ближайшего НП варьировало от 0,2 до 3,3 км (средняя = 1,4 км). Т.е. все площадки располагались в пределах пешей доступности для местных жителей. До участков также можно было добраться на легковом автомобиле или велосипеде. Высота расположения площадок над уровнем моря находилась в диапазоне 137–186 м (средняя = 160 м). Возраст взрослых деревьев превышал 45 лет, т.е. все обследованные леса были посажены или выросли до Чернобыльской аварии. Деревья на 30 площадках были представлены в основном сосной, на 2 – в основном березой, на 14 площадках лес был смешанным: береза, сосна, клен, дуб и прочие виды древесной, а также кустарниковой растительности. Представленность подлеска и валежника варьировала от участка к участку: от практически полного отсутствия (на площадках после недавнего низового пожара) до густых труднопроходимых зарослей с наличием на земле поваленных деревьев. Два достаточно типичных примера условий, в которых проводили измерения в лесах, приведены на рисунке 1.

Полевые гамма-спектры были измерены с помощью портативного гамма-спектрометра-дозиметра МКС АТ6101Д (фирма АТОМТЕХ, Беларусь) [8]. Прибор был изначально откалиброван производителем для измерения МАЭД_{сум} и удельной активности ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²³²Th, а также эффективной удельной активности этих природных радионуклидов ($A_{эфф}$) в объектах окружающей среды. В 2015–2021 гг. были проведены дополнительные исследования и калибровки, позволившие использовать этот прибор для дифференцированной оценки вкладов гамма-излучения от природных радионуклидов и от ¹³⁷Cs в МАЭД_{сум} [9–11].

Измерения проводили в сухую погоду. Сцинтилляционный детектор спектрометра размещали вертикально на алюминиевом треножнике так, чтобы расстояние между кристаллом NaI(Tl) и поверхностью земли равнялось 1 м (см. рис. 1). Дополнительно к измерениям на этой стандартной высоте на 19 участках были проведены измерения на расстоянии 0,1 м от поверхности почвы. Это было сделано для изучения возможного изменения оценки мощности дозы облучения человека в то время, когда он находится близко к поверхности почвы (напри-



Рис. 1. Примеры условий проведения гамма-спектрометрических измерений в лесу *in situ* (фотографии сделаны в августе 2021 г.):
 а – взрослые деревья представлены сосной; умеренное развитие подлеска; поверхность почвы покрыта в основном опадом и местами мхом; ареал НП Ипуть;
 б – взрослые деревья представлены в основном березой; слабое развитие подлеска; поверхность почвы покрыта разнотравьем; ареал НП Муравинка
[Fig. 1. Examples of the conditions for *in situ* gamma spectrometric measurements in forest (the photos were taken in August 2021):
 a – mature trees are represented by pine; moderate undergrowth; the soil surface is covered mainly with litter and in some places with moss; the area of settlement Iput';
 b – mature trees are represented by birch; undergrowth is underdeveloped; the soil surface is covered with forbs; the area of settlement Muravinka]

мер, во время сбора ягод или отдыха). Во всех случаях треногу устанавливали не ближе чем на 2 м от взрослого дерева. Продолжительность измерения была не менее 600 с. Перед измерением полевого спектра выполняли энергетическую калибровку спектрометра с помощью эталонного закрытого источника фотонного излучения ^{137}Cs типа ОСГИ-3, который размещали вплотную к поверхности детектора.

Обработку спектров и определение $\text{МАЭД}_{\text{сум}}$, $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$, МАЭД_{Cs} и $\text{МАЭД}_{\text{Cs-лес}}$ проводили в соответствии с методами, детально описанными в [9–11]. Полученные результаты спектрометрических измерений *in situ* использовали для вычисления $A_{\text{Cs-лес}}$ и Z_{Cs} по методу BUFCS, предложенному Ramzaev et al. [11]. Пропись метода здесь не приводится, т.к. она свободно доступна на русском и английском языках через Интернет [11, 12]. В 2020–2021 гг. данный метод был применен для определения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на 115 участках земли (огороды), расположенных внутри 46 НП юго-западных районов Брянской области. Полученные значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах хорошо соответствовали официально установленным значениям средней плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в НП. Для всей выборки обследованных населенных пунктов и участков соотношение экспериментальных и официальных данных в среднем равнялось 1,04 [12]; расхождение не превышало 2 раз.

Для вычисления компонента годовой эффективной дозы внешнего облучения (E) взрослого человека, обусловленного его пребыванием в лесу, использовали следующее выражение:

$$E_{i,j} = \text{МАЭД}_i \times a_i \times b_i \times t_j \times K^S \times 10^{-6}, \quad (1)$$

где $E_{i,j}$ – эффективная доза от гамма-излучения i -го радионуклида для j -й группы населения, мЗв/год; МАЭД_i – мощность AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения i -го радионуклида, нЗв/ч; a_i – коэффициент перехода от AMBIENTного эквивалента дозы к керме в воздухе для гамма-излучения i -го радионуклида, Гр/Зв; b_i – коэффициент перехода от кермы в воздухе к E для гамма-излучения i -го радионуклида, Зв/Гр; t_j – время нахождения представителя j -й группы населения в лесу, ч/год; K^S – фактор влияния снежного покрова на величину эффективной дозы, отн. ед.; 10^{-6} – фактор преобразования нЗв в мЗв.

Значения коэффициентов a_i и b_i приняты равными: для ^{137}Cs – 0,8 Гр/Зв и 0,71 Зв/Гр; для природных радионуклидов – 0,8 Гр/Зв и 0,7 Зв/Гр соответственно [13–15]. Для лесников значение t_j принято равным 1400 ч. Это соответствует доли времени (0,16), которую приводит в течение года эта группа населения в локации «Лес», согласно методическим рекомендациям Роспотребнадзора по радиационному мониторингу доз облучения (далее МР-РМДО⁵). Для прочих групп населения (исключая лесников) эта локация в документе МР-РМДО учтена в совокупности

с локацией «Луг», и обе локации обозначены как «Зона отдыха». Согласно документу МР-РМДО, среди этих прочих групп взрослого населения наибольшую долю (0,02) времени в году в «Зоне отдыха» проводят неработающие пенсионеры. По умолчанию принимаем, что на локацию «Лес» приходится половина этой доли, или 88 ч в год. Для остальных взрослых время пребывания в лесу в 2 раза меньше. Понижающий фактор K^S принят равным 0,9, как рекомендовано в документе МР-РМДО.

Для вычисления средней величины, медианы, стандартного отклонения и коэффициента вариации, а также для построения графиков использовали Microsoft Excel. Сравнение двух независимых выборок проводили с помощью непараметрического U -критерия Манна – Уитни. Для сравнения 2 зависимых выборок использовали непараметрический критерий Вилкоксона. Для определения связи между переменными использовали непараметрический коэффициент корреляции Спирмана ($R_{\text{сп}}$). Расчеты непараметрических показателей проводили с использованием интернет-платформы свободного доступа [www.wessa.net].

Результаты и обсуждение

Четкий пик с энергией 662 кэВ от $^{137\text{m}}\text{Ba}$ – короткоживущего ($T_{1/2} = 2,55$ мин) дочернего продукта распада ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$ находится в равновесии с ^{137}Cs), был идентифицирован на всех измеренных гамма-спектрах; примеры даны на рисунке 2. Не менее отчетливо во всех случаях был виден пик с энергией 1461 кэВ от ^{40}K . Присутствие пиков с энергией 1764 кэВ от ^{214}Bi (семейство ^{226}Ra) и 2615 кэВ от ^{208}Tl (семейство ^{232}Th) также можно было идентифицировать на спектрограммах.

Разброс значений $\text{МАЭД}_{\text{сум}}$ был весьма значителен: более чем на один порядок величины, от 54 до 2730 нЗв/ч (табл. 2). Этот разброс в основном определялся вариабельностью МАЭД_{Cs} (31–2700 нЗв/ч). Изменчивость $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ была сравнительно невелика: от 13 до 29 нЗв/ч.

В среднем вклад техногенного компонента (МАЭД_{Cs}) в $\text{МАЭД}_{\text{сум}}$ составил 88% (диапазон = 50–99%). Вклад нерассеянных (первичных) фотонов с энергией 662 кэВ (от ^{137}Cs – $^{137\text{m}}\text{Ba}$) в МАЭД_{Cs} варьировал от 38 до 58% (средняя = 52%).

На расстоянии 0,1 м от земли МАЭД_{Cs} была в среднем на 12% (разброс от 1 до 28%; медиана = 12%; $n = 19$) больше, по сравнению с таковой на расстоянии 1 м. Разница между двумя высотами очевидна и статистически значима (критерий Вилкоксона; $P < 0,01$). Значения $\text{МАЭД}_{\text{ПРН}}$ у поверхности земли были также несколько выше (в среднем на 5%), чем таковые на высоте 1 м. Эти небольшие различия были статистически значимыми (критерий Вилкоксона; $P < 0,01$).

Результаты определения $A_{\text{Cs-лес}}$ на площадках вблизи отдельных НП даны в таблице 1, а обобщенные результаты вычислений значения $A_{\text{Cs-лес}}$ приведены в колонке 6 табли-

⁵ Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности «Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС». Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2007 г. № 0100/13610-07-34. [Methodological recommendations for ensuring radiation safety «Radiation monitoring of exposure doses to the population of territories exposed to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant». Approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on December 27, 2007. No. 0100/13610-07-34. (In Russ.).]

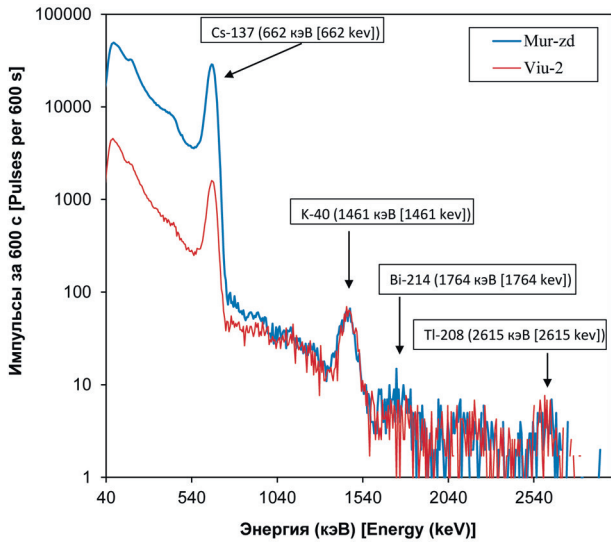


Рис. 2. Гамма-спектры, измеренные *in situ* летом 2021 г. на лесных площадках вблизи НП Муравинка (Mur-zd) и Выюнка (Viu-2). Официально установленные значения плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs в НП Муравинка и Выюнка в 2017 г. равнялись 555 и 41 кБк/м² соответственно. Стрелки указывают положения пиков антропогенного радионуклида ¹³⁷Cs, а также природных радионуклидов ²¹⁴Bi (семейство ²²⁶Ra), ²⁰⁸Tl (семейство ²³²Th) и ⁴⁰K. Видна выраженная разница в высоте пика ¹³⁷Cs между площадками

[Fig. 2. Gamma-ray spectra measured *in situ* in forest plots near settlements Muravinka (Mur-zd) and Viunka (Viu-2) in summer 2021. In 2017, the officially established level of soil contamination density with ¹³⁷Cs was 555 and 41 kBq/m² for the settlements Muravinka and Viunka, respectively. The arrows show positions of peaks associated with the anthropogenic radionuclide ¹³⁷Cs and the terrigenous (natural) radionuclides ²¹⁴Bi (²²⁶Ra series), ²⁰⁸Tl (²³²Th series) and ⁴⁰K. There is a pronounced difference between two plots in the height of the ¹³⁷Cs peak]

цы 2. Полученные значения плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs в лесу достаточно хорошо соответствовали официально установленным значениям плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs в близлежащем НП (рис. 3). Отношение $A_{Cs-лес}$ к $A_{Cs-НП}$ находилось в диапазоне от 0,70 до 1,32 (средняя = 0,94; медиана = 0,95).

$МАЭД_{Cs}$ и $A_{Cs-лес}$ положительно коррелировали между собой (рис. 4). Сила связи между переменными была очень высокой ($R_{Sp} = 0,991$, $P < 0,001$). Результаты статистической обработки значений $МАЭД_{Cs}$, нормированных на величину $A_{Cs-лес}$ ($МАЭД_{Cs-норм}$ (нЗв/ч)/(кБк/м²)), представлены в последней колонке таблицы 2. Как видно из таблицы 2, после такой нормировки разброс значений $МАЭД_{Cs}$ ожидаемо резко сузился: коэффициент вариации уменьшился с 98% до 12%. $МАЭД_{Cs-норм}$ отрицательно коррелировали со средней глубиной миграции ¹³⁷Cs в почве (Z_{Cs}). Выраженность отрицательной корреляции между $МАЭД_{Cs-норм}$ и Z_{Cs} была очень высокой ($R_{Sp} = -0,992$) и статистически значимой ($P < 0,001$).

Среднее значение нормализованной $МАЭД_{Cs}$ в лесу для нашей выборки ($n = 46$) – 1,36 (нЗв/ч)/(кБк/м²), оказалось в 2,5 раза выше по сравнению со средним значением $МАЭД_{Cs-норм}$ (0,55 (нЗв/ч)/(кБк/м²)), определенном в 2020–2021 гг. для 115 огородных участков в НП юго-западных районов Брянской области [12]. Столь явные различия между постоянно культивируемыми участками почвы (огороды) и некультивируемыми участками земли (лес), в первую очередь, связаны с весьма существенными различиями между двумя локациями в вертикальном распределении ¹³⁷Cs в почве. Средняя глубина миграции ¹³⁷Cs в почве (Z_{Cs}) в лесах варьировала от 1,9 до 11,3 г/см² (усредненно по выборке = 4,2 г/см²). Значение этого показателя на огородах находилось в диапазоне от 8,8 до 17,5 г/см² (средняя = 14,3 г/см²) [12]. Вместе с тем, $МАЭД$ в лесу от природных радионуклидов (средняя = 21 нЗв/ч)

Таблица 2

Мощность амбиентного эквивалента дозы от всех источников ($МАЭД_{сум}$), от природных радионуклидов ($МАЭД_{ПРН}$), от нерассеянных гамма-квантов с энергией 662 кэВ ($МАЭД_{Cs-пер}$), от суммы рассеянных и нерассеянных гамма-квантов ¹³⁷Cs+^{137m}Ba ($МАЭД_{Cs}$), плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs ($A_{Cs-лес}$), средняя глубина миграции ¹³⁷Cs в почве (Z_{Cs}) на 46 лесных участках в Брянской области в 2015–2021 гг.

[Table 2

Ambient dose equivalent rate from all sources ($ADER_{tot}$), from natural radionuclides ($ADER_{NRN}$), from the 662 keV primary photons ($ADER_{Cs-pri}$), from the sum of the primary and scattered photons of ¹³⁷Cs+^{137m}Ba ($ADER_{Cs}$), the soil contamination density with ¹³⁷Cs (A_{Cs-for}), the mean depth of ¹³⁷Cs migration in soils (Z_{Cs}) in 46 forest plots in the Bryansk region, 2015–2021]

Параметр [Parameter]	$МАЭД_{сум}$ (нЗв/ч) [ADER _{tot} (nSv/h)]	$МАЭД_{ПРН}$ (нЗв/ч) [ADER _{NRN} (nSv/h)]	$МАЭД_{Cs}$ (нЗв/ч) [ADER _{Cs} (nSv/h)]	$МАЭД_{Cs-пер}$ (нЗв/ч) [ADER _{Cs-pri} (nSv/h)]	$A_{Cs-лес}$ (кБк/м ²) A_{Cs-for} [(kBq/m ²)]	Z_{Cs} (г/см ²) [Z_{Cs} (g/cm ²)]	$МАЭД_{Cs-норм}$ (нЗв/ч)/(кБк/м ²) [ADER _{Cs-norm} (nSv/h)/(kBq/m ²)]
Минимум [Minimum]	54	13	31	13	21	1.9	0,80
Максимум [Maximum]	2730	29	2700	1430	1930	11.3	1,58
Медиана [Median]	473	21	445	231	354	3.9	1,39
Средняя [Mean]	578	21	549	289	398	4.2	1,36
С.о. [SD]	539	4	537	289	377	1.9	0,16
К.в., % [CV,%]	93	19	98	100	95	45	12

С.о. – стандартное отклонение [SD – standard deviation]; К.в. – коэффициент вариации (%) [CV – coefficient of variation (%)].

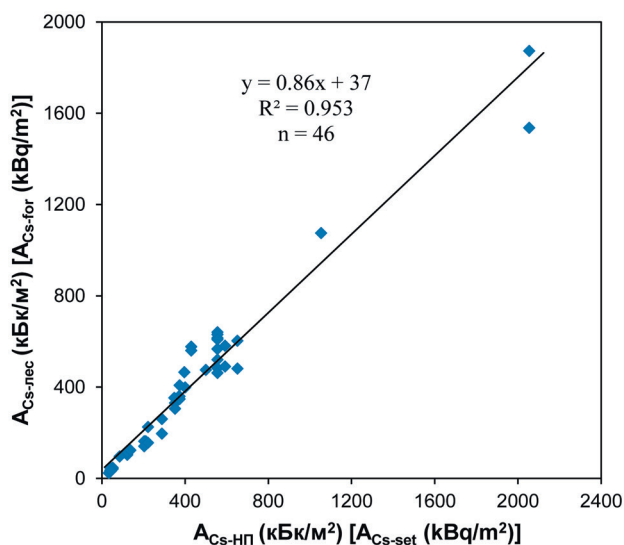


Рис. 3. Соотношение между измеренным *in situ* значением плотности загрязнения почвы ^{137}Cs на лесном участке ($A_{\text{Cs-лес}}$) и официально установленным средним значением плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в близлежащем населенном пункте ($A_{\text{Cs-сеп}}$). Ареалы 27 населенных пунктов Брянской области, 2015–2021 гг. Значения приведены на 01.01.2017 г. с учетом поправки на радиоактивный распад

[Fig. 3.] Relationship between the *in situ* determined value of the ^{137}Cs contamination density of soil in a forest plot ($A_{\text{Cs-лес}}$) and the officially established average value of the ^{137}Cs contamination density of soil in the nearest settlement ($A_{\text{Cs-сеп}}$). The areas of 27 settlements of the Bryansk region, 2015–2021. All values are decay corrected to the reference date of 01.01.2017]

была в 1,7 раза ниже таковой на огородных участках (средняя = 35 нЗв/ч) [12].

Представляет интерес сравнить наши результаты, полученные в лесах Брянской области, с данными недавнего аналогичного исследования радиационной обстановки (2016–2018 гг.) в лесах в зоне отселения Ветковского района Гомельской области Беларуси, которая граничит с Брянской областью [6]. Значения МАЭД_{CS-НОДМ} на высоте 1 м над поверхностью земли (средняя = 1,36 (нЗв/ч)/(кБк/м²); медиана = 1,39 (нЗв/ч)/(кБк/м²)) в лесах (n=46) юго-западных районов Брянской области удовлетворительно согласуются с оценкой этого показателя в лесах (n=7) Гомельской области: средняя = 1,50 (нЗв/ч)/(кБк/м²), медиана = 1,47 (нЗв/ч)/(кБк/м²). Различия между двумя территориями статистически незначимы (тест Манна – Уитни; $P > 0,05$). Отсутствие значимых различий (тест Манна – Уитни; $P > 0,05$) между областями также было зарегистрировано в отношении показателя глубины вертикальной миграции ^{137}Cs в почве. Медианное и среднее значения Z_{CS} в Брянской области равнялись 4,2 г/см² и 3,9 г/см² соответственно. В Гомельской области оба этих статистических параметра равнялись 4,4 г/см². Статистически незначимыми (тест Манна – Уитни; $p > 0,05$) оказались и различия между значениями МАЭД_{CS-ПРН}, определенные в лесах Брянской области (средняя = 21 нЗв/ч, медиана = 21 нЗв/ч) и Гомельской области (средняя = 18 нЗв/ч, медиана = 17 нЗв/ч). Выраженность различий между значения-

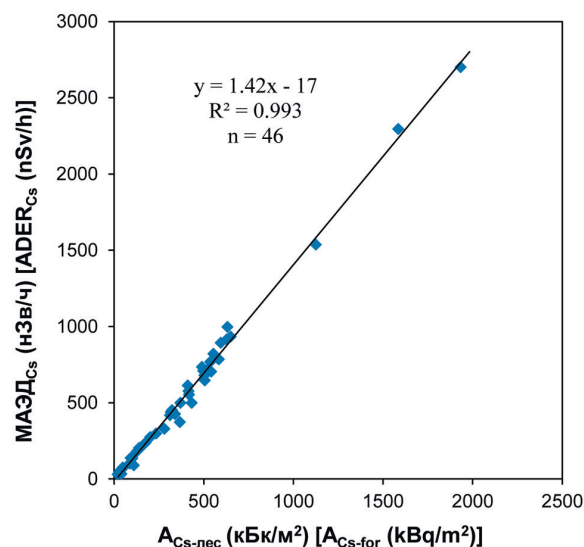


Рис. 4. Соотношение между плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-лес}}$) и мощностью AMBIENTного эквивалента дозы от ^{137}Cs (МАЭД_{CS}) на площадке в лесу. Ареалы 27 населенных пунктов Брянской области, 2015–2021 гг. Значения приведены на дату измерения *in situ*

[Fig. 4.] Relationship between the ^{137}Cs contamination density of soil ($A_{\text{Cs-лес}}$) and ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs (МАЭД_{CS}) in a forest plot. The areas of 27 settlements of the Bryansk region, 2015–2021. The values are given on the date of *in situ* measurement]

ми основных дозиметрических показателей на высоте 1 м и 0,1 м также была практически одинаковой: для МАЭД_{CS} – 15% (Гомельская область) и 12% (Брянская область); для МАЭД_{ПРН} – в обеих областях по 5%. Отсутствие различий в исследованных показателях радиационной обстановки между граничащими между собой районами Брянской и Гомельской области можно объяснить географической близостью этих регионов, схожестью лесных экосистем и типов почв [6, 11, 16], а также принадлежностью обеих территорий к одному «брянско-белорусскому цезиевому пятну» [17], которое сформировалось в результате чернобыльских выпадений в 1986 г.

Результаты вычисления годовых эффективных доз внешнего облучения взрослого человека, обусловленных его нахождением в обследованных лесах юго-западных районов Брянской области, представлены в таблице 3. Оценки даны для 3 групп населения, различающихся по продолжительности пребывания в лесу. Как видно из таблицы 3, годовая доза облучения от природных радионуклидов ($E_{\text{ПРН}}$) даже в случае весьма длительного пребывания в лесу (1400 ч в год для лесников) не превышает 0,02 миллизиверта. Оцененные значения дозы облучения от ^{137}Cs (E_{CS}) варьируют очень широко – от 0,0007 до 1,9 мЗв/год, в зависимости от выбранного участка и времени пребывания на нем. Максимальное ожидаемое значение E_{CS} (1,9 мЗв/год), значимо превышающее 1 мЗв/год – предел дозы для населения от техногенного облучения в контролируемых условиях⁶, было вычислено для

⁶ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09. [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPIN 2.6.1.2523-09. (In Russ.).]

Годовые эффективные дозы внешнего облучения 3 групп населения в лесу от природных радионуклидов ($E_{\text{ПРН}}$) и ^{137}Cs (E_{Cs}). Оценки даны для 46 лесных участков, обследованных в юго-западных районах Брянской области в 2015–2021 гг. Таблица 3

Annual effective doses from external exposure for three population groups in forest from natural radionuclides (E_{NRN}) and ^{137}Cs (E_{Cs}). The estimates are provided for 46 forest areas surveyed in the southwestern districts of the Bryansk region in 2015–2021] [Table 3

Параметр [Parameter]	Эффективная доза (мЗв/год) [Effective dose (mSv/year)]	
	$E_{\text{ПРН}}$ [E_{NRN}]	E_{Cs}
<i>Работающие взрослые [Working adults]</i>		
Минимум [Minimum]	0,0003	0,0007
Максимум [Maximum]	0,0006	0,061
Средняя [Mean]	0,0005	0,012
<i>Неработающие пенсионеры [Non-working pensioners]</i>		
Минимум [Minimum]	0,0006	0,0014
Максимум [Maximum]	0,0012	0,12
Средняя [Mean]	0,0010	0,025
<i>Лесники [Foresters]</i>		
Минимум [Minimum]	0,009	0,02
Максимум [Maximum]	0,020	1,93
Средняя [Mean]	0,015	0,39

работников лесного хозяйства, которые могли осуществлять свою профессиональную деятельность в лесу ареала НП Заборье Красногорского района. Очевидно, что время нахождения лесников в лесных массивах вблизи этого НП должно быть ограничено. Для остальных групп взрослых максимальное вычисленное значение E_{Cs} оказалось почти в 10 раз меньше, чем 1 мЗв/год, а среднее значение по нашей выборке лесов не превысило 3% от этой величины.

Здесь полезно оценить предельную плотность загрязнения почвы в лесу ^{137}Cs ($A_{\text{Cs-лес-пред}}$, кБк/м²), выше которой для выбранных групп населения следует ожидать E_{Cs} , превосходящую 1 мЗв/год. Для этого используем следующее выражение:

$$A_{\text{Cs-лес-пред}} = \frac{E_{\text{пред}}}{\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}} \times a_{\text{Cs}} \times b_{\text{Cs}} \times t_j \times K^S \times 10^{-6}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{пред}}$ – предел дозы от техногенного источника (в нашем случае 1 мЗв/год); $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ – максимальное значение $\text{МАЭД}_{\text{Cs-норм}}$ в лесу (1,58 (нЗв/ч)/(кБк/м²)) (см. табл. 2); a_{Cs} – коэффициент перехода от амбиентного эквивалента дозы к керме в воздухе для ^{137}Cs (0,8 Гр/Зв) [13]; b_{Cs} – коэффициент перехода от кермы в воздухе к мощности эффективной дозы для ^{137}Cs (0,71 Зв/Гр) [15]; t_j – время пребывания представителя j -й группы населения в лесу, ч/год; K^S – фактор влияния снежного покрова на величину эффективной дозы (0,9); 10^{-6} – фактор преобразования нЗв в мЗв.

Для работников лесного хозяйства (продолжительность пребывания в лесу 1400 ч/год) $A_{\text{Cs-лес-пред}}$ будет равна 880 кБк/м². Лесные массивы с такой плотностью загрязнения присутствуют в Новозыбковском и Красногорском районах (территории Злынковского и Клинцовского лес-

ничеств) [2]. Поэтому в данных районах применение защитных мероприятий в отношении деятельности работников лесного хозяйства по-прежнему остается весьма актуальным. Для неработающих пенсионеров (продолжительность пребывания в лесу 88 ч/год) величину эффективной дозы внешнего облучения в лесу в 1 мЗв/год можно ожидать при значении $A_{\text{Cs-лес}}$ равном 14000 кБк/м². Столь высокий уровень загрязнения почвы в Брянской области не встречается. Согласно сводке А.В. Панова [3], в 2017–2020 гг. максимальная плотность загрязнения ^{137}Cs лесов Брянской области равнялась 2156 кБк/м².

Важно отметить, что приведенные выше оценки предельной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs касаются самой простой (консервативной) ситуации, при которой доза облучения от чернобыльских выпадений формируется только во время пребывания человека в лесу и только за счет внешнего источника гамма-излучения. На самом деле местные жители (в том числе и лесники) подвергаются внешнему облучению во многих других локациях внутри и вне населенных пунктов [18, 19]. Кроме того, часть дозы от техногенных источников ионизирующего излучения формируется за счет поступления радионуклидов в организм человека при потреблении пищевых продуктов местного происхождения (в том числе даров леса) [5, 7]. В этой связи следует корректно оценить каждый из компонентов дозы с учетом плотности радиоактивного загрязнения территории НП (или лесного массива) в текущем году. Такие обобщенные оценки дозы внешнего облучения для локаций «Огород» и «Жилой дом» в Брянской области применительно к современным условиям уже даны в работах [12, 20]. В отношении локаций «Лес» при вычислении годовой эффективной дозы внешнего облучения от ^{137}Cs для представителя j -й груп-

пы населения в лесу (E_{Cs-j} , мЗв/год), который находится в ареале населенного пункта с известным в текущем году значением $A_{Cs-оф}$ (кБк/м²), можно использовать формулу:

$$E_{Cs-j} = MAЭД_{Cs-норм} \times a_{Cs} \times b_{Cs} \times t_j \times K^S \times 0,94 \times A_{Cs-оф} \times 10^{-6}, \quad (3)$$

где $MAЭД_{Cs-норм}$ – эмпирически установленное среднее значение нормализованной мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs в лесу в летний период времени (1,36 (нЗв/ч)/(кБк/м²)) (см. табл. 2); a_{Cs} – коэффициент перехода от AMBIENTНОГО эквивалента дозы к керме в воздухе для ^{137}Cs (0,8 Гр/Зв) [13]; b_{Cs} – коэффициент перехода от кермы в воздухе к мощности эффективной дозы для ^{137}Cs (0,71 Зв/Гр) [15]; t_j – время пребывания представителя j -й группы населения в лесу, ч/год; K^S – фактор влияния снежного покрова на величину эффективной дозы (0,9); 0,94 – эмпирически установленное среднее отношение $A_{Cs-лес}/A_{Cs-оф}$; 10^{-6} – фактор преобразования нЗв в мЗв.

Следует отметить, что численные значения коэффициентов a_{Cs} и b_{Cs} были выведены с использованием экспериментальных данных, полученных при проведении измерений в условиях реального радиоактивного загрязнения в Брянской области более 10 лет тому назад. Перемножая коэффициенты a_{Cs} и b_{Cs} , можно получить непосредственный коэффициент перехода ($K_{П, А-Е}$, безразмерная величина) от $MAЭД_{Cs}$ к E_{Cs} . В нашем случае значение $K_{П, А-Е}$ равно 0,57 (= 0,8 × 0,71). Эта величина разумно соответствует соотношению дозовых коэффициентов, современные значения которых представлены в недавней публикации МКРЗ № 144 [21] для ситуации внешнего облучения человека, стоящего на земле, загрязненной радионуклидами. В частности, для плоского изотропного источника ^{137m}Ba (короткоживущий дочерний продукт распада ^{137}Cs ; энергия первичных фотонов = 662 кэВ), который расположен в почве на глубине 3 г/см², соотношение между значением коэффициента перехода от плотности загрязнения к мощности эффективной дозы для взрослого человека (0,726 (нЗв/ч)/(кБк/м²)) и значением коэффициента перехода от плотности загрязнения к МАЭД на высоте 1 м от поверхности земли (1,31 (нЗв/ч)/(кБк/м²)) равно 0,554. В пересчете на материнский радионуклид ^{137}Cs (выход ^{137m}Ba на распад ^{137}Cs = 0,944) нормализованная МАЭД при таком заглаблении источника будет равна 1,24 (нЗв/ч)/(кБк/м²). Эта величина довольно близка к среднему значению $MAЭД_{Cs-норм}$, определенному в нашей работе для лесов юго-западных районов Брянской области. Для случая экспоненциально распределенного объемного источника ^{137m}Ba в почве при значениях релаксационной массы на площадь (коэффициент β) от 0,5 до 10 г/см² соотношение между коэффициентом перехода от плотности загрязнения к мощности эффективной дозы для взрослого человека и коэффициентом перехода от плотности загрязнения к МАЭД на высоте 1 м от поверхности земли находится в диапазоне 0,583–0,546 (вычислено нами на основании табулированных значений из приложения 2 к публикации [21]). При этом по мере заглабления источника в профиле почвы (и соответственно, нарастания значения β) коэффициент перехода от AMBIENTНОГО эквивалента дозы к эффективной дозе постепенно уменьшается. Величина нормализованной МАЭД от ^{137m}Ba при том же темпе заглабления источника снижается более резко – с 1,93 до 0,74 (нЗв/ч)/(кБк/м²). В пересчете на ^{137}Cs

нормализованная МАЭД при заглаблении источника в почве будет уменьшаться от 1,82 до 0,70 (нЗв/ч)/(кБк/м²). Значения $MAЭД_{Cs-норм}$, вычисленные для лесов Брянской области в нашей работе для периода 2015–2021 гг., находились внутри этого диапазона и варьировали от 1,58 до 0,80 (нЗв/ч)/(кБк/м²) (см. табл. 2).

Отметим, что коэффициенты перехода от плотности радиоактивного загрязнения почвы к эффективной дозе вычислены и представлены в виде таблиц в публикации МКРЗ № 144 [21] для идеально простого случая – открытого участка почвы с гладкой поверхностью. Поэтому применительно к лесным экосистемам эти коэффициенты можно использовать для оценки эффективной дозы в качестве первого и консервативного приближения. В отдаленном периоде после Чернобыльской аварии присутствие надземной биомассы уменьшает дозу облучения в лесу по сравнению с открытой местностью, но это снижение сравнительно невелико – до 10% [22]. Само поведение человека в лесу также оказывает модифицирующее влияние на годовую дозу облучения, т.к. при сборе грибов и ягод тело индивидуума находится ближе к поверхности земли, и мощность дозы облучения может несколько возрасти (на несколько процентов). Как показали наши измерения, значение $MAЭД_{Cs}$ на высоте 0,1 м на 12% больше, чем таковое на высоте 1 м. С другой стороны, местные жители могут перемещаться по лесным дорогам в автомобиле. Мощность дозы гамма-излучения внутри автомобиля ниже, чем таковая снаружи [23].

Как показывают результаты компьютерного моделирования [21, 24], для детей, по сравнению со взрослыми, коэффициенты перехода от плотности загрязнения почвы ^{137}Cs к мощности эффективной дозы на открытом участке земли больше. Это связано с расположением тела стоящего на земле ребенка ближе к источнику излучения в почве и с меньшей толщиной наружного слоя мягких тканей и мышц. К примеру, для плоского изотропного источника ^{137m}Ba , который расположен в почве на глубине 3 г/см², разница между значениями эффективной дозы у ребенка в возрасте 1, 5, 10 и 15 лет, по сравнению с таковой у взрослого человека, составит 22, 17, 9 и 1% соответственно (вычислено нами на основании табулированных значений из приложения 2 к публикации [21]). Эти особенности следует учитывать при оценке дозы внешнего облучения детей разного возраста в случае их пребывания в радиоактивно загрязненных лесах.

Заключение

Использование предварительно калиброванного портативного гамма-спектрометра-дозиметра позволило выполнить отдельные измерения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы от ^{137}Cs ($MAЭД_{Cs}$) и природных радионуклидов ($MAЭД_{ПРН}$), а также измерить плотность загрязнения почвы ^{137}Cs ($A_{Cs-лес}$) на 46 площадках, расположенных в лесах вблизи 27 населенных пунктов юго-западных районов Брянской области. Разброс измеренных значений $MAЭД_{Cs}$ был весьма значителен: более чем на один порядок величины, от 31 до 2700 нЗв/ч. Изменчивость $MAЭД_{ПРН}$ была сравнительно невелика: от 13 до 29 нЗв/ч. На основании полученных экспериментальных данных и рекомендованных Роспотребнадзором значений продолжительности пребывания человека в лесу была оценена эффективная доза внешнего облучения для 3 групп местного населе-

ния. Оцененная эффективная доза внешнего облучения от природных радионуклидов ($E_{\text{ПРН}}$) даже в случае весьма длительного пребывания в лесу (1400 ч в год для лесников) не превышает 0,02 миллизиверта в год. Оцененные значения дозы облучения от ^{137}Cs (E_{Cs}) варьировали очень широко – от 0,001 до 1,9 мЗв/год, в зависимости от выбранного участка и группы населения. Максимальное ожидаемое значение E_{Cs} (1,9 мЗв/год), значимо превышающее 1 мЗв/год – предел дозы для населения от техногенного облучения в контролируемых условиях, было вычислено для работников лесного хозяйства, которые могли осуществлять свою профессиональную деятельность в лесу ареала НП Заборье Красногорского района. Для остальных групп взрослых максимальное вычисленное значение E_{Cs} оказалось почти в 10 раз меньше, чем 1 мЗв/год, а среднее значение по нашей выборке лесов не превысило 3% от этой величины. В 2015–2021 гг. значения $A_{\text{Cs-лес}}$ находились в диапазоне от 21 до 1930 кБк/м². Эти значения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в лесах хорошо соответствовали официально установленным значениям плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в близлежащих населенных пунктах ($A_{\text{Cs-НП}}$). Отношение $A_{\text{Cs-лес}}$ к $A_{\text{Cs-НП}}$ находилось в диапазоне от 0,70 до 1,32 (средняя = 0,94; медиана = 0,95). Полученные данные свидетельствуют о том, что официальные установленные значения $A_{\text{Cs-НП}}$ можно надежно использовать в дозиметрических моделях для оценки компонента эффективной дозы внешнего облучения человека, обусловленного его нахождением в лесу, который расположен в ареале данного населенного пункта. При этом в настоящее время рекомендуемый коэффициент перехода от $A_{\text{Cs-НП}}$ к МАЭД_{Cs} равен 1,28 (нЗв/ч)/(кБк/м²). Для оценки $E_{\text{ПРН}}$ рекомендуется использовать значение МАЭД_{ПРН}, равное 21 нЗв/ч. Эти значения определены для юго-западных районов Брянской области, и поэтому в других районах их (в особенности значение МАЭД_{ПРН}) следует использовать с осторожностью.

Личный вклад авторов

В.П. Рамзаев участвовал во всех этапах экспериментальных исследований, написал черновик рукописи и представил окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

А.Н. Барковский осуществил общее руководство выполнением работ, обеспечил привлечение финансирования и отредактировал промежуточный вариант статьи.

А.А. Братилова обеспечила проведение исследований в Брянской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

А.В. Громов выполнил часть полевых измерений и подготовил библиографические и нормативные ссылки.

Н.В. Титов обеспечил логистику и выполнил часть полевых измерений.

Благодарность

Авторы благодарны К.В. Варфоломеевой (Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева) за помощь при проведении полевых исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Финансирование работы частично осуществлялось по контракту № 0173100001419000019 с Роспотребнадзором.

Литература

1. Природа России. Национальный портал. URL: http://www.priroda.ru/regions/forest/detail.php?SECTION_ID=586&FO_ID=601&ID=7281. (Дата обращения 09.05.2022).
2. Марченко Т.А., Радин А.И., Раздайковин А.Н. Ретроспективное и современное состояние лесных территорий приграничных районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 6–18.
3. Панов А.В. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 5–13.
4. Марченко Т.А., Раздайковин А.Н., Санжарова Н.И., и др. Разработка национального стандарта «Безопасность жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях. Безопасное использование лесов на землях лесного фонда и иных категорий. Основные положения» // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 4. С. 27–30.
5. Травникова И.Г., Брук Г.Я., Шутов В.Н., Базюкин А.В. Пути формирования доз внутреннего облучения сельских жителей Брянской области после аварии на ЧАЭС (часть первая) // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 2. С. 11–20.
6. Ramzaev V., Bernhardsson C., Dvornik A., et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on *in situ* and *ex situ* assessments in 2016–2018 // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. Vol. 214–215. P. 106168.
7. Брук Г.Я., Романович И.К., Базюкин А.Б., и др. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 73–78.
8. АТОМТЕХ. Спектрометр МКС АТ6101ДР. URL: <https://atomtex.com/ru/spektrometr-mks-at6101dr>. (Дата обращения: 17.03.2022).
9. Ramzaev V., Barkovsky A., Bernhardsson C., Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors // Radiacionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 18–29.
10. Ramzaev V., Bernhardsson C., Barkovsky A., et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $H^*(10)$, from ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation // Radiation Measurements. 2017. Vol. 107. P. 14–22.
11. Ramzaev V., Bernhardsson C., Dvornik A., et al. *In situ* determination of ^{137}Cs inventory in soil using a field-portable scintillation gamma spectrometer-dosimeter // Journal of Environmental Radioactivity. 2021. Vol. 231. P. 106562.
12. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Мощность амбиентного эквивалента дозы и плотность загрязнения почвы ^{137}Cs на огородах в населенных пунктах Брянской области России в 2020–2021 гг. // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 85–95.
13. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case

- of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium // *Radiation Hygiene = Radiatsionnaya Gygiena*. 2015. Vol. 8, No. 3. P. 6–20.
14. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York. 2000.
 15. Golikov V., Wallström E., Wöhni T., et al. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2007. Vol. 46. P. 375–382.
 16. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Варфоломеева К.В. Вертикальное распределение ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг. // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 3. С. 27–41.
 17. Квасникова Е.В., Стукин Е.Д., Титкин Г.И., и др. Трансформация радиоактивного загрязнения почв Брянско-Белорусского Полесья // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 1. С. 46–58.
 18. Golikov V., Balonov M.I., Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2002. Vol. 41. P. 185–193.
 19. Ramzaev V., Yonehara H., Hille R., et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003 // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006. Vol. 85. P. 205–227.
 20. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А. Мощность амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs и природных радионуклидов в одноэтажных жилых домах в населенных пунктах Брянской области в 2020–2021 гг. // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15, № 2. С. 95–107.
 21. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144 // *Annals of the ICRP*. 2020. Vol. 49, No. 2.
 22. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Корреляция между расчетными и измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения в воздухе в лесах, загрязненных ^{137}Cs : отдаленный период после Чернобыльской аварии // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 4. С. 37–46.
 23. Lauridsen B., Jensen P.H. Shielding factors for vehicles to γ radiation from activity deposited on structures and ground surfaces // *Health Physics*. 1983. Vol. 45, No. 6. P. 1039–1045.
 24. Satoh D., Furuta T., Takahashi F., et al. Age-dependent dose conversion coefficients for external exposure to radioactive cesium in soil // *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2016. Vol. 53, No. 1. P. 69–81.

Поступила: 04.07.2022 г.

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

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

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

Громов Алексей Валерьевич – кандидат медицинских наук, 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

Титов Николай Владимирович – 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

Для цитирования: Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Братилова А.А., Громов А.В., Титов Н.В. 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

Assessment of annual effective dose from external exposure in forests of the south-western districts of the Bryansk region of Russia: 2015–2021

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky, Anzhelika A. Bratilova, Alexey V. Gromov, Nikolay V. Titov

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

During a stay in a radioactively contaminated forest, a person is inevitably exposed to ionizing radiation from the man-made radionuclides. The purpose of this study was to evaluate the external component of the annual effective dose due to exposure in the forests contaminated following the Chernobyl accident. The study was conducted in the south-western districts of the Bryansk region of Russia in the period 2015–2021. Field (in situ) gamma spectrometric measurements were carried out on 46 forest plots located in the areas of 27 settlements. As of 01.01.2017, the officially established values of soil contamination density with ^{137}Cs in the territory of the settlements themselves were in the range from 33 to 2050 kBq/m². According to the field gamma spectrometry, the density of soil contamination with ^{137}Cs on the forest plots varied from 21 to 1930 kBq/m². The density of soil contamination with ^{137}Cs in forest was in good agreement with the officially established level of soil contamination with ^{137}Cs in the nearby settlement: the ratio of one indicator to another ranged from 0.70 to 1.32 (mean = 0.94; median = 0.95). The scatter in the measured values of the ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs was quite significant: more than one order of magnitude, from 31 to 2700 nSv/h. The variability of the ambient dose equivalent rate from natural radionuclides was relatively small: from 13 to 29 nSv/h. Based on the obtained experimental data and on published values of the duration of human stay in forest, the annual effective dose to selected groups of population was estimated. The dose from natural radionuclides, even in the case of a prolonged stay in the forest (1400 hours per year for foresters), did not exceed 0.02 mSv/year. The estimated values of the effective dose from ^{137}Cs varied very widely from 0.001 to 1.9 mSv/year, depending on the selected forest plot and population group. On the whole, the data obtained indicate that the officially established values of the density of soil contamination with ^{137}Cs in a settlement can be directly used in dosimetric models to estimate the component of the effective dose to a person due to his/her staying in the forest which is located in the area of this settlement. The currently recommended conversion coefficient from the density of soil contamination with ^{137}Cs in a settlement to the ambient dose equivalent rate from ^{137}Cs in the nearby forest is 1.28 (nSv/h)/(kBq/m²). To estimate the effective dose from natural radionuclides, it is recommended to use the value of the ambient dose equivalent rate equal to 21 nSv/h.

Key words: Chernobyl accident, ^{137}Cs , forest, soil contamination density, natural radionuclides, in situ, gamma-ray spectrometry, ambient dose equivalent, effective dose.

Personal participation of authors

V.P. Ramzaev contributed to all parts of experimental work, wrote a draft of the article, and submitted the final version of the article to the editors of the journal.

A.N. Barkovsky provided general guidance on the execution of the study, secured the funding, and edited the interim version of the article.

A.A. Bratilova provided research in the Bryansk region and edited the interim version of the article.

A.V. Gromov performed part of the field measurements and collected the bibliography.

N.V. Titov provided logistics and performed part of the field measurements.

Acknowledgments

The authors are grateful to K.V. Varfolomeeva (St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev) for her help in field measurements.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Sources of funding

The work was partially financed under contract No. 0173100001419000019 with Rospotrebnadzor.

References

1. Nature of Russia. National Portal. Available on: http://www.priroda.ru/regions/forest/detail.php?SECTION_ID=586&FO_ID=601&ID=7281 (Accessed 09 May 2022). (In Russian).
2. Marchenko TA, Radin AI, Razdaivodin AN. Retrospective and current state of forest territories of the border areas of the Bryansk region exposed to radioactive contamination. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 6–18. (In Russian).
3. Panov AV. Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2021;1: 5–13.

Valery P. Ramzaev

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

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

4. Marchenko TA, Razdayvodin AN, Sanzharova NI, Panov AV, Goryachev EA. The development of a national standard «Safe life of the population on contaminated territories. Safe use of forests of forestry fund lands and other wooded lands. The basic framework». *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2013;6(4): 27–30. (In Russian).
5. Travnikova IG, Bruk GYa, Shutov VN, Bazyukin AB. Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of the rural inhabitants of the Bryansk region in Russia after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2013;6(2): 11–20. (In Russian).
6. Ramzaev V, Bernhardsson C, Dvornik A, Barkovsky A, Vodovatov A, Jönsson M, et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on *in situ* and *ex situ* assessments in 2016–2018. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020;214–215: 106168.
7. Bruk GYa, Romanovich IK, Bazyukin AB, Bratilova AA, Vlasov AYu, Gromov AV, et al. The average annual effective doses for the population in the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for zonation purposes), 2017. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4): 73–78. (In Russian).
8. ATOMTEX. Spectrometer AT6101DR. Available on: <https://atomtex.com/en/at6101dr-spectrometer>. (Accessed 17 March 2022). (In Russian).
9. Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ¹³⁷Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29.
10. Ramzaev V, Bernhardsson C, Barkovsky A, Romanovich I, Jarneborn J, Mattsson S, et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, H*(10), from ¹³⁷Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation. *Radiation Measurements*. 2017;107: 14–22.
11. Ramzaev V, Bernhardsson C, Dvornik A, Barkovsky A, Vodovatov A, Jönsson M. *In situ* determination of ¹³⁷Cs inventory in soil using a field-portable scintillation gamma spectrometer-dosimeter. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021;231: 106562.
12. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Bratilova AA. Ambient dose equivalent rate and soil contamination density with ¹³⁷Cs in kitchen gardens in settlements of the Bryansk region, Russia in 2020–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4): 85–95. (In Russian).
13. Ramzaev VP, Barkovsky AN. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 6–20.
14. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York. 2000.
15. Golikov V, Wallström E, Wöhni T, Tanaka K, Endo S, Hoshi M. Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2007;46: 375–382.
16. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Varfolomeeva KV. Vertical distribution of ¹³⁷Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–2016. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 27–41. (In Russian).
17. Kvasnikova EV, Stukin ED, Titkin GI, Zhukova OM, Samonov AE, Borisenko EN, et al. Transformation of the field of radioactive contamination of soils in Bryansk-Belarus Polesseye. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 2002;1: 46–58. (In Russian).
18. Golikov V, Balonov MI, Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2002;41: 185–193.
19. Ramzaev V, Yonehara H, Hille R, Barkovsky A, Mishine A, Sahoo SK, et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006;85: 205–227.
20. Ramzaev VP, Barkovsky AN, Bratilova AA. Ambient dose equivalent rate from ¹³⁷Cs and natural radionuclides in one-story residential buildings in settlements of the Bryansk region in 2020–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(2): 95–107. (In Russian).
21. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. *Annals of the ICRP*. 2020;49(2).
22. Ramzaev VP, Barkovsky AN. Correlation between calculated and measured values of gamma dose rate in air in forests contaminated with ¹³⁷Cs: the remote period after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 37–46. (In Russian).
23. Lauridsen B, Jensen PH. Shielding factors for vehicles to γ radiation from activity deposited on structures and ground surfaces. *Health Physics*. 1983;45(6): 1039–1045.
24. Satoh D, Furuta T, Takahashi F, Endo A, Lee C, Bolch WE. Age-dependent dose conversion coefficients for external exposure to radioactive cesium in soil. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2016;53(1): 69–81.

Received: July 04, 2022

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

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

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

Alexey V. Gromov – Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Emergency Response, 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

Nikolay V. Titov – Researcher of the Laboratory of External Exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Gromov A.V., Titov N.V. 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. Vol. 15, No. 3. P. 58-71. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71

Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край)

А.В. Титов, Н.К. Шандала, Ю.С. Бельских, В.А. Серегин, Т.А. Дороньева, А.А. Филонова, М.П. Семенова, Ю.В. Гущина, Ю.Н. Павленко-Михайлов

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

В статье приводятся результаты исследования современной радиационной обстановки на площадке уранового наследия, расположенной на территории пади Бамбакай (Забайкальский край), образовавшейся в период с 1973 по 1989 г. из-за сброса шахтных вод. При радиационном обследовании для измерения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы использовался метод пешеходной гамма-съемки. Для исследования удельной активности радионуклидов в почве проводился отбор проб. Активность гамма-излучающих радионуклидов в пробах измерялась на стационарном гамма-спектрометре. Измерение активности ^{210}Po и ^{210}Pb проводилось после их радиохимического выделения из проб. Установлено, что значения мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы на территории пади варьируются в широком диапазоне от 0,1 до 1,4 мкЗв/ч на участках с техногенным загрязнением. Оцененное среднее значение гамма-фона для данной местности составляет $0,14 \pm 0,02$ мкЗв/ч. Удельная активность ^{238}U , ^{226}Ra , ^{235}U , ^{210}Pb и ^{210}Po в поверхностном 10-сантиметровом слое почвы на локальных загрязненных участках территории в 10–40 раз выше фоновых значений. Большая часть радионуклидов в почве находится в кислоторастворимой форме. Эффективные дозы облучения работников, проводящих заготовку сена на территории пади, не превышают 1,5 мкЗв/год. Дозы облучения наземных биообъектов (трава, дождевые черви) ниже безопасного уровня облучения биоты в 100 и более раз.

Ключевые слова: AMBIENTНЫЙ эквивалент дозы, гамма-излучение, геологоразведочные работы, естественные радионуклиды, радиационное обследование, удельная активность, формы радионуклидов, шахтные воды.

Введение

В Российской Федерации к «урановому наследию» относятся не только объекты и площадки выведенных из эксплуатации предприятий по добыче и переработке урановых руд, но и места ведения опытно-промышленных работ геологоразведочными партиями [1].

Одна из таких площадок находится на территории пади Бамбакай (Бамбакайская) в Забайкальском крае (рис. 1), расположенной в 4–5 км юго-восточнее ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение имени Е.П. Славского» (ПАО ППГХО), вдали от населенных пунктов. На этапе геологоразведочных работ по Стрельцовскому рудному полю в 1960-е гг. территория пади была использована геологами для сброса неочищенных шахтных вод. Сброс шахтных вод в паду Бамбакай по трубопроводу через водораздельную часть



Рис. 1. Расположение пади Бамбакай [Fig. 1. Location of Bambakai Valley]

Титов Алексей Викторович

Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна

Адрес для переписки: 123098, Россия, г. Москва, ул. Живописная, д. 46; Тел. 8(499) 190-94-18, E-mail: titov_fmcb@mail.ru

Аргунского хребта продолжался в период с 1973 по 1989 г. до ввода в эксплуатацию установки очистки шахтных вод на гидрометаллургическом заводе горнодобывающего предприятия.

По данным работ [2, 3], в результате многолетнего сброса шахтных вод сформировалась крупная промоина длиной около 150 м, шириной до 15 м и глубиной до 6 м. Ниже промоины, в месте слияния основной и второстепенной падей, образовалось техногенное болото длиной около 1,5 км и шириной 300 м, заросшее растительностью. По оценкам специалистов ПАО ППГХО, общая площадь загрязненного участка, обусловленного ураном, радием, молибденом и марганцем, составляла 41,8 га (418 000 м²). Мощность дозы гамма излучения на этой территории колебалась от 60 до 230 мкР/ч (от 0,6 до 2,3 мкЗв/ч) [4].

В общей сложности в падь Бамбакай было сброшено около 200 т урана, примерно столько же молибдена и значительное количество марганца. Около 75% урана накопилось в техногенном болоте [5]. Сведения о количестве сброшенных других природных радионуклидов отсутствуют.

Проект рекультивации пади Бамбакай был разработан еще в 1984 г. [2], но не был реализован.

О необходимости реабилитации данной территории указывалось на седьмом заседании Комиссии стран-участниц СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях 23 июня 2005 г. [6] и в решении Экономического совета СНГ от 27 декабря 2006 г. [1].

Проведение работ и средства на реабилитацию пади Бамбакай были предусмотрены Федеральной целевой программой по ядерной и радиационной безопасности на период 2008–2015 гг. [7]. До 2012 г. реабилитация земель пади Бамбакай не проводилась по причине отсутствия финансирования [8]. Сведений о проведенной реабилитации в последующие годы в доступных литературных источниках нет.

В отчете по экологической безопасности ПАО ППГХО за 2017 г. [9] наличие загрязненной территории в зоне наблюдения площадью 41,8 га указано, а в отчете за 2018 г. [10] – уже нет. Однако в сводном информационно-аналитическом материале по итогам реализации Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» [11] информация о реабилитации территории пади Бамбакай отсутствует.

Одной из основных проблем в области обеспечения радиационной безопасности, указанных в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на

период до 2025 года и дальнейшую перспективу»¹, является наличие территорий ядерного (уранового) наследия, в отношении которых требуется принятие дополнительных мер по реабилитации радиоактивно загрязненных участков территорий для приведения их в безопасное состояние для дальнейшего использования.

Из-за отсутствия в доступных литературных источниках информации как о радиационной обстановке, так и использовании территории населением, в 2020 г. на территории пади Бамбакай были проведены исследования с целью экспресс-оценки современной радиологической обстановки, доз облучения работников при проведении работ и доз облучения биообъектов.

Материалы и методы

В процессе исследований были выполнены измерения следующих параметров радиационной обстановки:

- мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД) на высоте 1 м от поверхности почвы;
- удельная активность радионуклидов в поверхностном 10-сантиметровом слое почвы.

Для исследования МАЭД применялся метод непрерывной пешеходной гамма-съемки с помощью портативного спектрометрического комплекса МКС-01А «Мультирад-М» (Россия) и дозиметра-радиометра МКС-АТ6101с (Беларусь). Измерения проводились с привязкой к географическим координатам с помощью глобальной навигационной системы GPS. Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения МКС-01А «Мультирад-М» с блоком детектирования БДК-63-01А и «МКС-АТ6101с» с блоком детектирования БДГК-11М составляет от 0,04 до 3 МэВ.

Предел допустимой основной относительной погрешности измерений в диапазоне МАЭД от 0,03 до 2,0 мкЗв/ч обоих средств измерения составляет не более 20–25%.

Измерение удельной активности ²³⁸U, ²³⁵U, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²¹⁰Pb и ⁴⁰K в пробах поверхностного слоя почвы проводилось на гамма-спектрометре с полупроводниковым блоком детектирования BE5030 фирмы «CANBERRA» (США) в соответствии с методикой измерения активности (удельной активности) гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах².

Для установления равновесия между материнскими и дочерними радионуклидами счетные образцы выдерживались в герметичной ёмкости в течение 1 месяца.

Измерение удельной активности ²¹⁰Po и ²¹⁰Pb выполнялось на альфа-бета-радиометре УМФ-2000 после их радиохимического выделения из проб в соответствии с МУК 4.3.051-2011³.

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

² Методика измерения активности (удельной активности) гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением полупроводникового гамма-спектрометра CANBERRA с программным обеспечением Genie-2000 по количественному анализу гамма-спектров. СПб., 2014. 37 с. [A method for measuring the activity (specific activity) of gamma-emitting radionuclides in counting samples using a CANBERRA semiconductor gamma spectrometer with Genie-2000 software for quantitative analysis of gamma spectra, St. Petersburg, 2014, 37 p. (In Russ.)].

³ МУК 4.3.051-2011 «Свинец-210 и полоний-210. Определение удельной активности в пробах почвы, растительности и пищевых продуктов после электролитического осаждения на никелевом диске» [МУК 4.3.051-2011. “Lead-210 and Polonium-210. Determination of the specific activity in samples of soil, plants and foodstuffs after the electrolytic deposition on the nickel disc”. (In Russ.)].

Для исследования форм радионуклидов в почве применён метод последовательной экстракции Ф.И. Павлоцкой [11]. Легкодоступные (обменные) формы радионуклидов извлекались одномолярным (1М) раствором уксуснокислого аммония. Подвижные радионуклиды (подвижная, кислоторастворимая форма) извлекались 1М раствором соляной кислоты. Фиксированные (прочносвязанные) формы радионуклидов извлекались при обработке почвы 6М раствором соляной кислоты.

Результаты и обсуждение

В настоящее время на территории пади Бамбакай признаков промоины и техногенного болота не обнаружено (рис. 2). По-видимому, за 30 лет после окончания сброса шахтных вод оно высохло.



Рис. 2. Территория пади Бамбакай
[Fig. 2. Territory of Bambakai Valley]

Поверхность дна пади относительно ровная, заросшая травой. Сбросная канава глубиной более 1 м в период проведения исследований (октябрь 2020 г.) была сухой.

Территория пади используется местными фермерами для заготовки сена для животноводческих ферм.

Результаты радиационных измерений на территориях пади представлены на рисунке 3 и в таблицах 1, 2.

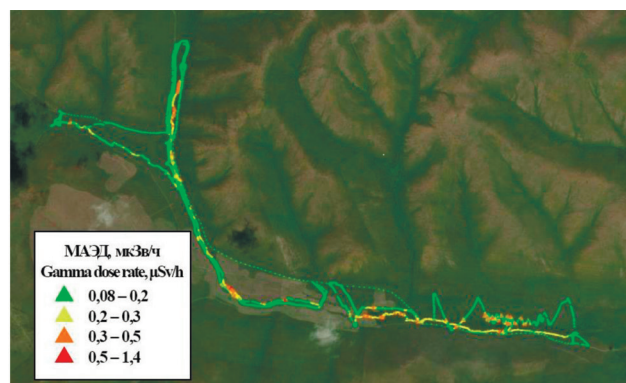


Рис. 3. Значения мощности AMBIENT эквивалента дозы гамма-излучения на территории пади в районе сбросных канав
[Fig. 3. Gamma ambient dose equivalent rates in the territory of the valley in the area of waste ditches]

На обследованной территории значения МАЭД (более 4800 измерений) варьируют от 0,1 до 1,4 мкЗв/ч.

На «фоновых» участках территории пади вдали от участков с техногенным загрязнением среднее значение МАЭД составляет $0,13 \pm 0,02$ мкЗв/ч. Это значение можно принять в качестве гамма-фона.

На всем протяжении русла сбросной канавы от места сброса шахтных вод до расстояний 3–4 км вглубь пади зна-

Удельная активность радионуклидов в поверхностном слое почвы

Таблица 1

[Table 1]

Radionuclide specific activities in the surface soil layer

Радионуклид [Radionuclide]	Число проб [Number of samples]	Среднее, Бк/кг [Average, Bq/kg]	Среднее геометрическое, Бк/кг [Geometric mean, Bq/kg]	Медиана, Бк/кг [Median, Bq/kg]	Диапазон варьирования, Бк/кг [Range variation, Bq/kg]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
<i>Территория пади [Territory of the Valley]</i>						
²³⁸ U	5	310	160	400	26–650	270
²³⁵ U	5	33	16	45	2–68	29
²²⁶ Ra	5	850	270	1090	19–1820	801
²³² Th	5	42	41	41	38–46	4,1
²¹⁰ Pb	5	940	430	1252	54–1850	820
²¹⁰ Po	5	630	360	780	63–1200	520
⁴⁰ K	5	510	510	510	450–550	39
<i>Русло канавы [Channel of the ditch]</i>						
²³⁸ U	6	360	330	300	230–730	190
²³⁵ U	6	37	32	28	19–82	24
²²⁶ Ra	6	580	440	460	190–1160	420
²³² Th	6	41	40	42	33–50	6,8
²¹⁰ Pb	6	730	650	600	400–1460	410

Радионуклид [Radionuclide]	Число проб [Number of samples]	Среднее, Бк/кг [Average, Bq/kg]	Среднее геометрическое, Бк/кг [Geometric mean, Bq/kg]	Медиана, Бк/кг [Median, Bq/kg]	Диапазон варьирования, Бк/кг [Range variation, Bq/kg]	Стандартное отклонение [Standard deviation]
²¹⁰ Po	6	530	460	430	280–880	290
⁴⁰ K	6	450	450	480	340–520	77
<i>Фоновые участки [Background areas]</i>						
²³⁸ U	6	34	34	38	26–39	6
²³⁵ U	6	3,1	3,1	3,1	2,0–4,1	0,7
²²⁶ Ra	6	33	32	32	19–44	9
²³² Th	6	40	40	40	36–46	4
²¹⁰ Pb	6	60	59	59	42–84	14
²¹⁰ Po	6	65	63	64	45–96	18
⁴⁰ K	6	560	550	540	480–660	68

Таблица 2

Формы нахождения радионуклидов в почве

[Table 2]

Forms of radionuclides in the soil]

Форма радионуклида [Radionuclide form]	Доля радионуклида*, % [Radionuclide fraction*, %]			
	²²⁶ Ra	²³² Th	²³⁵ U, ²³⁸ U	²¹⁰ Pb
Обменная [Exchange]	9±6	7±2	32±7	4±1
Кислоторастворимая [Acid – soluble]	91±6	17±2	68±7	96±1
Прочносвязанная [Strongly bound]	–	76±2	–	–

* Погрешность измерений указана с доверительной вероятностью 95%.
[* Measurement uncertainty is given at 95% confidence level].

чения МАЭД в несколько раз выше гамма-фона, достигая 1,4 мкЗв/ч. На больших расстояниях значения МАЭД в русле снижаются практически до фоновых значений.

Техногенное загрязнение имеется не только в канаве, но и на небольших по площади участках береговой части канавы. На таком максимальном по площади (около 20 000 м²) участке (в правой части рисунка 3) МАЭД достигает значений 0,63 мкЗв/ч. Он, по-видимому, расположен на месте высохшего техногенного болота. По результатам 359 измерений на этом участке получено, что среднее значение МАЭД составляет 0,22 мкЗв/ч, среднее геометрическое значение – 0,19 мкЗв/ч, стандартное отклонение – 0,11 мкЗв/ч. На остальных локальных участках, в основном вблизи русла канавы, МАЭД не превышает 0,3 мкЗв/ч.

По нашим оценкам, площадь территории (без русла канавы) со значениями МАЭД выше гамма-фона составляет не более 3 га.

Полученные данные свидетельствуют о существенном снижении площади территории со значениями МАЭД выше гамма-фона по сравнению с данными конца прошлого столетия (42 га).

Удельная активность природных радионуклидов (²³⁸U, ²²⁶Ra, ²³⁵U, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po) в поверхностном слое почвы русла канавы и на загрязненных участках более чем на порядок выше фоновых значений. Однако их значения ниже критериев отнесения почвы к твердым радиоактивным отходам⁴ (сумма отношений удельных активностей радионуклидов к соответствующим критериям отнесения к отходам не превышает 0,4).

⁴ Постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (с изменениями и дополнениями). [Decree of the Government of the Russian Federation dated October 19, 2012, No. 1069 “On the criteria for Classifying Solid, Liquid and Gaseous Waste as Radioactive Waste, the Criteria for Classifying Radioactive Waste as Special Radioactive Waste and Removed Radioactive Waste, and the Criteria for Classifying Removed Radioactive Waste” (as amended and supplemented) (In Russ.)].

Рассчитанные значения $A_{эфф.}$ в почве варьировали от 110 до 1900 Бк/кг. В соответствии с ОСПОРБ 99/2010⁵ (п. 5.2.9) при превышении значения 1500 Бк/кг производственные отходы должны направляться для захоронения на специально выделенные участки в места захоронения промышленных отходов.

На территории пади только в 1 пробе (не из русла ручья) $A_{эфф.}$ превысило это значение.

В поверхностном слое почвы на загрязненных участках удельная активность радионуклида ^{226}Ra , дающего основной вклад в мощность дозы гамма-излучения и в $A_{эфф.}$, существенно выше удельной активности ^{235}U и ^{238}U . Если на фоновых территориях отношение удельной активности ^{235}U к удельной активности ^{226}Ra – около 0,11, то на участках с техногенным загрязнением оно снижается до 0,037 (рис. 4).

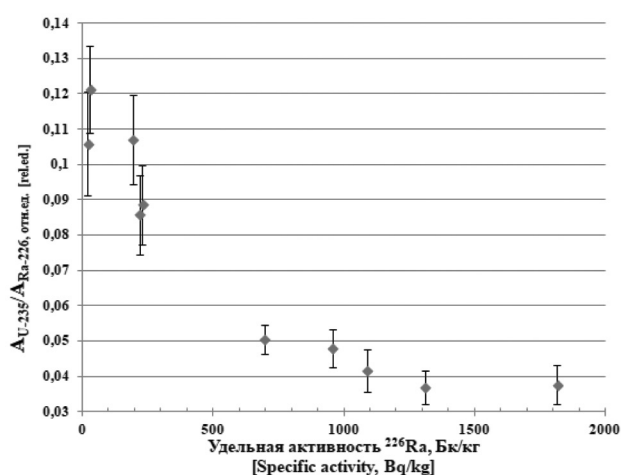


Рис. 4. Отношение удельной активности ^{235}U к удельной активности ^{226}Ra в зависимости от активности ^{226}Ra в почве
[Fig. 4. Ratio of the specific activity of ^{235}U to the specific activity of ^{226}Ra depending on the activity of ^{226}Ra in the soil]

Аналогичная зависимость имеет место и для отношения удельной активности ^{238}U к удельной активности ^{226}Ra : на фоновых участках пади оно приблизительно равно 1,3, а на участках с техногенным загрязнением снижается до 0,4. Причиной этого может быть глубокое проникновение урана в почву. По данным исследования, которое проводилось через 3 года после прекращения слива шахтных вод в падь, уран был сконцентрирован в перегнойно-торфянистых глеевых почвах техногенного болота до глубины 50–60 см [3].

Для оценки возможного поведения радионуклидов в будущем проведено исследование форм нахождения радионуклидов в почве (за исключением ^{210}Po). Для исследования брались пробы почвы с максимальными

удельными активностями радионуклидов (из канавы и с загрязненной территории). Результаты этой оценки приведены в таблице 2.

Исследование форм нахождения радионуклидов в почве показало, что большая часть радионуклидов в почве находится в кислоторастворимой форме.

Доля радионуклидов в обменной форме составляет от 4 до 32%. Наиболее подвижными являются изотопы урана ($32\pm 7\%$). Эта часть урана может вовлекаться в миграционные процессы, в том числе распространяться вглубь почвы или размываться дождевыми водами по территории и по руслу канавы.

Критическую группу при нахождении на территории пади составляют водители самоходных косилок, которые оснащены механизмом укладывания прокоса в рулоны. Площадь техногенного загрязнения, по нашим оценкам, не более 3 га. При использовании самоходных косилок, скорость покоса которых составляет 2 га в 1 ч, и двухразовом покосе в год время нахождения работников на загрязненной территории составит не более 3 ч в год. Максимальное зарегистрированное значение МАЭД на загрязненных территориях (без учета МАЭД в русле канавы, где покос не проводится) составило 0,63 мкЗв/ч или 0,5 мкЗв/ч за вычетом естественного фона. При таких условиях, даже без учета ослабления гамма-излучения кабинами косилок, эффективная доза техногенного облучения работника не превысит 1,5 мкЗв в год. Ингаляционным поступлением радионуклидов с вдыхаемым воздухом можно пренебречь, т.к. работники находятся в кабинах.

На участках с повышенным содержанием радионуклидов в почве будет иметь место и повышенная удельная активность в произрастающей на них траве. Однако площадь загрязненных участков составляет не более 1% от общей площади сенокоса в пади, составляющей около 300 га. Поэтому даже при предположении, что удельная активность радионуклидов в траве на загрязненных участках будет в 10 раз выше, средняя активность в траве, скошенной на всей территории, будет отличаться не более чем на 10% от активности в траве на фоновых территориях (маловероятно, что определенная часть коров на ферме будет питаться сеном, скошенным исключительно на загрязненной части пади).

При оценке доз облучения наземной биоты в качестве референтных организмов рассмотрены дикорастущая трава и дождевой червь. В отличие от других организмов, они постоянно находятся на загрязненных территориях.

Результаты выполненных оценок с использованием дозовых коэффициентов, приведенных в публикации МКРЗ 136⁶ с учетом рекомендаций Р52.18.820-2015⁷, представлены в таблице 3.

⁵ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): СП 2.6.1.2612-10 (Пост. от 26 апреля 2010 г. № 40). М., 2010. 82 с. [Main Sanitary Rules 2.6.1.2612-10 "Basic sanitary rules for ensuring radiation safety" (OSPORB 99/2010) (In Russ.).]

⁶ ICRP, 2017. Dose coefficients for nonhuman biota environmentally exposed to radiation. ICRP Publication 136. Ann. ICRP 46(2).

⁷ Рекомендации Р52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. [Recommendations R52.18.820-2015. Assessment of Radiation and Environmental Impact on Natural Environment Objects Based on Radiation Situation Monitoring Data. (In Russ.)]

Оценка доз облучения референтных организмов наземной биоты

Таблица 3

Dose assessment of the reference organisms of the terrestrial biota

[Table 3

Референтный организм [Reference organism]	Диапазон доз облучения, мкГр/сут [Dose range, µGy/day]			Безопасный уровень облучения биоты, мкГр/сут [Safe level of biota exposure, µGy/day]
	Внешняя [External]	Внутренняя [Internal]	Суммарная [Total]	
Дикорастущая трава [Wild grass]	0,15–14	0,57–30	0,72–44	10 000
Червь дождевой [Earthworm]	0,40–40	0,7–60	1,1–100	10 000

Результаты оценки свидетельствуют об отсутствии опасности для представителей этих референтных организмов. Максимальные дозы, которые реализуются при нахождении в русле канавы, более чем в 100 раз ниже безопасных уровней облучения биоты. В соответствии с P52.18.820-2015 при значениях доз не требуется проведения каких-либо природоохранных мероприятий для обеспечения радиационной безопасности этих объектов биоты.

Заключение

В 2020 г. было проведено исследование радиационного состояния территории пади Бамбакай, на которой расположена площадка уранового наследия, образовавшаяся в результате сброса шахтных вод в период проведения геологоразведочных работ и в первые годы работы ПАО ППГХО.

По результатам исследования установлено:

1. Техногенное болото, которое образовалось при сбросе неочищенных шахтных вод, высохло. Его местонахождение визуально не определяется. Территория пади, в том числе на месте болота, используется для заготовки сена для животноводческих ферм.

2. Значения МАЭД на территории пади варьируют от фоновых значений (0,1 мкЗв/ч) до 1,4 мкЗв/ч (в русле сбросной канавы). Имеются небольшие участки вне русла канавы, где значения МАЭД превышают фоновые значения. На таком, наибольшем по площади, участке (около 20 000 м²), возможно, на месте бывшего болота, МАЭД достигает значений 0,63 мкЗв/ч.

3. Площадь территории со значениями МАЭД, превышающими фоновые значения, за 30 лет после окончания сброса шахтных вод существенно снизилась. Однако неясно, произошло это в результате возможно проведенной рекультивации или в результате миграции радионуклидов вглубь почвы.

4. Удельная активность природных радионуклидов (²³⁸U, ²²⁶Ra, ²³⁵U, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po) в поверхностном слое почвы русла канавы и на загрязненных участках более чем на порядок выше фоновых значений. Однако их значения ниже критериев отнесения почвы к твердым радиоактивным отходам. Удельная активность ²³²Th соответствует фоновым значениям.

На отдельных участках значения $A_{эфф.}$ в почве может превышать 1500 Бк/кг.

Целесообразно почву с этих участков направить для захоронения на специально выделенные участки в места захоронения промышленных отходов.

Площадь территории с удельной активностью природных радионуклидов выше фоновых значений составляет около 1% от всей площади пади.

5. Исследование форм нахождения радионуклидов в почве показало, что в обменной форме находится от 4 до 32% радионуклидов. Наиболее подвижными являются изотопы урана. Следовательно, в будущем возможно перераспределение активности радионуклидов, как по поверхности почвы, так и по глубине.

6. Эффективная доза техногенного облучения работника, проводящего сенокос на загрязненной территории пади, не превысит 1,5 мкЗв в год.

Из-за небольшой площади участков с повышенным загрязнением поверхностного слоя почвы ожидается, что среднее содержание природных радионуклидов в скошенной на всей территории пади травы будет выше не более чем на 10% от содержания в траве на чистых участках. Т.е. значимого увеличения средней удельной активности радионуклидов в молоке коров на ферме, использующей для корма траву (сено) с территории пади, от фоновых значений не ожидается. Для подтверждения этого в будущих исследованиях целесообразно провести отбор и измерение проб молока.

7. Максимальные дозы, которые реализуются при нахождении референтных организмов (дикорастущая трава и дождевой червь) в русле канавы, в 100 и более раз ниже безопасных уровней облучения биоты.

Таким образом, по результатам проведенного исследования радиационную обстановку на территории пади можно признать удовлетворительной. При сложившемся укладе ведения хозяйственной деятельности (маловероятно, что он изменится в ближайшем будущем) отсутствует неприемлемая техногенная нагрузка, как на население, так и на биоту.

Однако проведенные исследования не дали ответа на основной вопрос: куда и как распределились 200 т урана, сброшенного на территорию пади? Либо это неточные данные о количестве, либо уран мигрировал по профилю почвы. Если мигрировал, то до какой глубины, и не поступает ли он в подземные воды? Каковы уровни загрязнения почвы на различных глубинах, и не относится ли эта почва к твердым радиоактивным отходам?

Для ответа на эти вопросы необходимо провести более масштабные исследования.

Личный вклад авторов

А.В. Титов – концепция и дизайн исследования, написание текста.

Н.К. Шандала – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование.

Ю.С. Бельских – сбор материала и обработка данных, написание текста.

В.А. Серегин – сбор материала и обработка данных.

Т.А. Дороньева – сбор материала и обработка данных.

А.А. Филонова – сбор материала и обработка данных.
М.П. Семенова – сбор материала и обработка данных, редактирование.

Ю.В. Гущина – сбор материала и обработка данных.

Ю.Н. Павленко-Михайлов – сбор литературных данных, обработка данных.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Журавлевой Любви Алексеевне – главному врачу ФГБУЗ ЦГиЭ № 107 и сотрудникам промышленно-санитарной лаборатории (заведующий Эль Гааб Елена Михайловна) за оказание содействия в организации и проведении исследований.

Конфликт интересов

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

Источники финансирования

Финансирование работы осуществлялось по Государственному контракту № 10.002.19.2 с Федеральным медико-биологическим агентством в рамках реализации Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года».


Литература

1. Решение Экономического совета СНГ о докладе «Реабилитация территорий государств-участников Содружества Независимых Государств, подвергшихся деятельности урановых производств» (Вместе с Рабочей группой по подготовке Доклада) (Принято в г. Москве 27.12.2006). URL: http://www.conventions.ru/view_base.php?id=9680 (Дата обращения: 21.03.2022).
2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Под общ. ред. Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. М.: 2012 г. Т.1, 356 с.
3. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. Под ред. ч.-корр. РАН Н.С. Касимова и проф. А.Е. Воробьева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 395 с.

4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2004 году. Ежегодник. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2005. 288 с.
5. Маринов Б.Н., Голованов О.Г. Распределение и формы миграции токсичных компонентов в природных водах на территории Стрельцовского рудного поля. Геоэкологическое исследование и охрана недр. Информ. сб. ГЕОИНФОРММАРК. М., 1995. № 2. С. 34 – 42.
6. Седьмое заседание Комиссии стран-участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях 23 июня 2005 г. Реабилитация территорий, подвергшихся деятельности урановых производств. Докладчик кандидат технических наук Кошкин Юрий Иосифович. Киев. URL: <https://4lib.org/book/3201780/4f251f?id=3201780&secret=4f251f> (Дата обращения: 21.03.2022).
7. Межгосударственная целевая программа «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» Приложение к Решению Совета глав правительств СНГ о внесении изменений в Межгосударственную целевую программу «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств» от 2 ноября 2018 года.
8. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2010 году. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074801/> (Дата обращения: 21.03.2022).
9. Отчет по экологической безопасности ПАО «ППГХО» за 2017 год. URL: https://priargunsky.armz.ru/images/File/priargunsky/2018/ppgho_ecology_report_2017.pdf?ysclid=110mfmevk9 (Дата обращения: 21.03.2022).
10. Отчет по экологической безопасности ПАО «ППГХО» за 2018 год. URL: http://www.priargunsky.armz.ru/images/File/priargunsky/2019/ecology_report_2018.pdf (дата обращения: 21.03.2022).
11. Сводный информационно-аналитический материал «Итоги реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2030 года» в 2016–2020 гг.». М.: Госкорпорация «Росатом», 2021. 134 с.

Поступила: 13.07.2022 г.


Титов Алексей Викторович – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна. **Адрес для переписки:** 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46; E-mail: titov_fmbc@mail.ru

ORCID  <http://orcid.org/0000-0002-3797-2677>


Шандала Наталия Константиновна – доктор медицинских наук, заместитель генерального директора по науке и биофизическим технологиям, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <http://orcid.org/0000-0003-1290-3082>


Бельских Юрий Сергеевич – научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <http://orcid.org/0000-0001-6013-6610>


Серегин Владимир Александрович – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-9883-1571>


Дороньева Татьяна Алексеевна – научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-6826-1934>


Филонова Анна Александровна – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-0832-2878>

Семенова Мария Петровна – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <http://orcid.org/0000-0003-0904-0415>

Гущина Юлия Валерьевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-5953-4475>

Павленко-Михайлов Юрий Назарович – ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия

Для цитирования: Титов А.В., Шандала Н.К., Бельских Ю.С., Серегин В.А., Дороньева Т.А., Филонова А.А., Семенова М.П., Гущина Ю.В., Павленко-Михайлов Ю.Н. Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край) // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 72-81. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-72-81

Radiation situation in the territory of the uranium legacy site in the Bambakai Valley (Transbaikal Territory)

Aleksey V. Titov, Nataliya K. Shandala, Yuriy S. Belskikh, Vladimir A. Seregin, Tatyana A. Doroneva, Anna A. Filonova, Mariya P. Semenova, Yuliya V. Gushchina, Yuriy N. Pavlenko-Mikhaylov

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

The article presents the results of a study of the current radiation situation at the uranium legacy site located in the territory of the Bambakai Valley (Transbaikal Territory), formed in the period from 1973 to 1989 due to the discharge of mine water. During the radiation survey, the method of pedestrian gamma survey was used to measure the ambient dose equivalent rate. Soil sampling was carried out to study the radionuclide specific activities in the soil. The activity of gamma-emitting radionuclides in the samples was measured with a stationary gamma spectrometer. The activities of ^{210}Po and ^{210}Pb were measured after their radiochemical extraction from samples. It was found that the values of ambient dose equivalent rate in the territory of the valley varied over the wide range from 0.1 to 1.4 $\mu\text{Sv/h}$ in the areas under manmade contamination. The estimated average value of the gamma background for this place is $0.14 \pm 0.02 \mu\text{Sv/h}$. The specific activities of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{235}U , ^{210}Pb and ^{210}Po in the surface 10-cm soil layer at the site are from 10-40 times higher than the background values. The most part of radionuclides in the soil is in the acid-soluble form. Effective doses of the workers involved in hay harvesting in the area of the fallow land do not exceed 1.5 $\mu\text{Sv/year}$. Doses of terrestrial environmental media (grass, earthworms) are 100 and more times lower than the safe level of exposure to biota.

Key words: ambient dose equivalent, gamma radiation, geological survey, natural radionuclides, radiation survey, the specific activity, radionuclide forms, mine waters.

The individual contributions of authors

Aleksey V. Titov – the concept and design of the study, writing a text.

Nataliya K. Shandala – the concept and design of the study; writing a text, editing.

Yuriy S. Belskikh – collection and processing of material; writing a text.

Aleksey V. Titov

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center

Address for correspondence: Zhivopisnaya Str., 46, Moscow, 123098; E-mail: titov_fmabc@mail.ru

Vladimir A. Seregin – collection and processing of material.
Tatyana A. Doroneva – collection and processing of material.

Anna A. Filonova – collection and processing of material.
Mariya P. Semenova – collection and processing of material, editing.

Yuliya V. Gushchina – collection and processing of material.
Yuriy N. Pavlenko-Mikhaylov – collection of literature data, and processing of material.

Acknowledgements

The authors are grateful to Zhuravleva Lyubov Alekseevna, Chief Physician of the Federal State Budgetary Institution Central Sanitary and Epidemiological Hospital No. 107, and the staff of the industrial and sanitary laboratory (Head El Gaab Elena Mikhailovna) for their assistance in the organization and conduct of the research.

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 work was financed under the State Contract No. 10.002.19.2 with the Federal Medical-Biological Agency as part of the Federal Target Program «Nuclear and Radiation Safety for 2016-2020 and for the period until 2030».

References

- Decision of the CIS Economic Council on the report "Remediation of the territories of the member states of the Commonwealth of Independent States affected by the activities of uranium production" (Together with the Working Group on the Report Preparing) (Approved in Moscow 27.12.2006). Available on: http://www.conventions.ru/view_base.php?id=9680. (Accessed: 21.03.2022). (In Russian).
- Nuclear Legacy Problems and Ways to Solve Them. Gen. Ed. Evstratov EV, Agapov AM, Laverov NP, Bolshov LA, Linge I.I. Moscow; 2012. Vol. 1, 356 p. (In Russian).
- Geochemical Barriers in the Area of the Hyper-genesis. Ed. Corr. member RAS Kasimov NS and Prof. Vorobyev AE. Moscow: Publ.house of the Moscow University; 2002. 395 p. (In Russian).
- Radiation Situation in the Territory of Russia and Adjacent Countries in 2004. Annual. Moscow: Roshydromet Meteorological Agency; 2005. 288 p. (In Russian).
- Marinov BN, Golovanov OG. Distribution and Migration Forms of Toxic Components in Natural Waters in the Territory of the Streltsov Ore Field. Geo-Ecological Study and Subsoil Protection. Inform. Book GEOINFORMMARK. Moscow; 1995. No. 2. P. 34 – 42. (In Russian).
- The Seventh Meeting of the CIS Member States on Atomic Energy Peaceful Use, June 23, 2005. Remediation of Territories Affected by Uranium Mining Activities. The speaker – PhD. in Tech.Sci. Koshik Y.I. Kiev. Available on: <https://4lib.org/book/3201780/4f251f?id=3201780&secret=4f251f> (Accessed: 21.03.2022). (in Russian).
- Interstate Target Program "Remediation of Territories of the States Affected by the Uranium Mining Activities" Annex to the Solution of the Council of the CIS Government Heads on Amendments in the Interstate Target Program "Remediation of the Territories of the States Affected by The Uranium Mining Activities" dated November 2, 2018. (In Russian).
- Annual Report on the Activity of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2010. Available on: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074801/> (Accessed: 21.03.2022). (In Russian).
- Environmental Safety Report of the PJSC PIMCU of 2017. Available on: https://priargunsky.armz.ru/images/File/priargunsky/2018/ppgho_ecology_report_2017.pdf?ysclid=I10m-fmevk9 (Accessed: 21.03.2022). (In Russian).
- Environmental Safety Report of the PJSC PIMCU of 2018. Available on: http://www.priargunsky.armz.ru/images/File/priargunsky/2019/ecology_report_2018.pdf (Accessed: 21.03.2022). (In Russian).
- Summary Information and Analytical Material "Results of the Implementation of the Federal Target Program Assuring Nuclear and Radiation Safety for 2016 – 2020 and for the Period up to 2030" in 2016–2020". Moscow: The State Corporation "Rosatom"; 2021. 134 p. (In Russian).

Received: July 13, 2022

For correspondence: Aleksey V. Titov – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Zhivopisnaya Str., 46, Moscow, 123098; E-mail: titov_fmbc@mail.ru)

ORCID  <http://orcid.org/0000-0002-3797-2677>


Nataliya K. Shandala – M.D., Ph.D., Science and Biophysics Technologies Deputy Director General, Doctor of Medical Science, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID  <http://orcid.org/0000-0003-1290-3082>


Yuriy S. Belskikh – Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID  <http://orcid.org/0000-0001-6013-6610>


Vladimir A. Seregin – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia


ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-9883-1571>


Tatyana A. Doroneva – Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-6826-1934>

Anna A. Filonova – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-0832-2878>

Mariya P. Semenova – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia,
ORCID  <http://orcid.org/0000-0003-0904-0415>.

Yuliya V. Gushchina – Junior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
ORCID  <https://orcid.org/0000-0002-5953-4475>.

Yuriy N. Pavlenko-Mikhaylov – Leading Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

For citation: Radiation Situation in the Territory of the Uranium Legacy Site in the Bambakai Valley (Transbaikal Territory) Titov A.V., Shandala N.K., Belskikh Yu.S., Seregin V.A., Doroneva T.A., Filonova A.A., Semenova M.P., Gushchina Yu.V., Pavlenko-Mikhaylov Yu.N. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 72-81. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-72-81

Оценка доз облучения лимфоцитов и их предшественников при пероральном поступлении стронция-89,90

Е.И. Толстых, М.О. Дегтева

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

Циркулирующие Т-лимфоциты используются в радиобиологии как «естественные биодозиметры», поскольку частота хромосомных aberrаций, возникающих в них после облучения, пропорциональна накопленной дозе. Более того, стабильные хромосомные aberrации (транслокации) обнаруживаются в них спустя годы и десятилетия после облучения. Оценка доз на циркулирующие лимфоциты требует учета 2 компонентов: дозы, полученной предшественниками (прогнитогами) лимфоцитов в красном костном мозге; дозы, полученной лимфоцитами в лимфоидных органах/тканях при циркуляции. Недавно созданная модель облучения циркулирующих Т-лимфоцитов учитывает все эти компоненты, а также возрастные особенности динамики Т-лимфоцитов. Особенно важно применение модельного подхода при оценке доз от остеотропных бета-излучателей ($^{89,90}\text{Sr}$). После попадания в организм они накапливаются в кости и практически локально облучают костный мозг, так что доза на другие лимфоидные органы и ткани оказывается существенно ниже. Целью данного исследования является оценка коэффициентов перехода от перорального поступления $^{89,90}\text{Sr}$ к накопленной дозе на циркулирующие Т-лимфоциты и их предшественников (DK_L). Для расчетов использовали разработанную ранее модель облучения Т-лимфоцитов и новые дозовые коэффициенты для красного костного мозга, оцененные на основе половозрастной биокинетической модели и новой дозиметрической модели скелета человека. В результате проделанной работы впервые были определены значения DK_L . Возраст на момент поступления $^{89,90}\text{Sr}$ варьировал от новорожденного до 35 лет, возраст обследования Т-лимфоцитов (возраст забора крови) — до 75 лет. Максимальные значения дозовых коэффициентов, как для ^{90}Sr , так и для ^{89}Sr , были характерны для детей первых лет жизни. Было показано, что дозы на циркулирующие Т-лимфоциты оказываются ниже, чем дозы на ККМ от этих радионуклидов, но существенно выше, чем дозы на другие лимфоидные ткани. Влияние пола на DK_L выражено для детей 10 лет и старше. Область применения DK_L охватывает работников предприятий атомной промышленности, а также население радиоактивно загрязненных территорий (Уральский регион, зона Чернобыльской аварии).

Ключевые слова: Т-лимфоциты, дозовые коэффициенты, $^{89,90}\text{Sr}$, внутреннее облучение, биодозиметрия.

Введение

Циркулирующие Т-лимфоциты при облучении человека используются как «естественные биодозиметры». Это свойство Т-лимфоцитов связано с тем, что частота хромосомных aberrаций, возникающих в них после облучения, пропорциональна накопленной дозе, а сформированные в лимфоцитах стабильные хромосомные aberrации (транслокации) обнаруживаются спустя годы и десятилетия после облучения [1]. Оцененную на основе хромосомных транслокаций дозу обычно интерпретируют как дозу на красный костный мозг (ККМ) [1]. При внешнем равномерном гамма-облучении это вполне правомерно, поскольку доза на ККМ (местонахождение Т-предшественников) и прочие лимфоидные органы (место циркуляции Т-лимфоцитов) в этом случае практически совпадает. Однако в случае неравномерного об-

лучения, когда доза на ККМ и другие лимфоидные ткани существенно различается, подобная интерпретация может приводить как к занижению дозы на ККМ, так и к ее завышению [2, 3]. Это связано с длительным существованием потомков Т-прогнитога во внескелетных лимфоидных органах и тканях, со способностью к делению Т-лимфоцитов в периферических лимфоидных органах, с длительным поддержанием определенного репертуара клонов Т-лимфоцитов в периферической крови [4–7].

В последние годы была проведена большая работа для прояснения роли облучения предшественников Т-лимфоцитов в ККМ и циркулирующих Т-лимфоцитов при формировании хромосомных aberrаций [8–9]. На основе разработанной нами ранее концепции Т-клеточного рода [8–9] был предложен модельный подход для оценки доз на циркулирующие Т-лимфоциты (модель облучения Т-лимфоцитов) [10]. При этом подходе дозы

Толстых Евгения Игоревна

Уральский научно-практический центр радиационной медицины

Адрес для переписки: 454141, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: evgenia@urcrm.ru

на Т-лимфоциты рассчитываются как средневзвешенное значение доз, формирующихся в ККМ при облучении Т-клеточных предшественников – прогениторов, а также в других лимфоидных тканях при миграции Т-лимфоцитов. Модельный подход был также использован для определения дозовых коэффициентов, позволяющих перейти от перорального поступления $^{141,144}\text{Ce}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb и $^{103,106}\text{Ru}$ к дозе на циркулирующие Т-лимфоциты [3]. Дозы от этих радионуклидов на циркулирующие Т-лимфоциты оказывались выше, чем дозы на ККМ, но ниже, чем дозы на другие лимфоидные ткани, такие как лимфоидные ткани кишечника.

Предварительные оценки доз и валидация модели облучения Т-лимфоцитов были проведены для жителей прибрежных сел реки Течи, облучившихся, в основном, за счет $^{89,90}\text{Sr}$, поступившего с водой и пищей; их кровь исследовалась методом FISH для оценок частоты хромосомных aberrаций [10]. Причиной радиоактивного загрязнения реки и территории проживания была производственная деятельность ПО «Маяк» (Челябинская область, Россия) и ряд аварийных ситуаций, случившихся в хранилищах радиоактивных отходов [11, 12]. Поступая в организм, радиоизотопы $^{89,90}\text{Sr}$, ввиду своей остеотропности, практически локально облучают ККМ, очень мало воздействуя на другие лимфоидные ткани. За годы исследований в УНПЦ РМ были накоплены результаты измерений содержания ^{90}Sr в организме жителей загрязненных территорий: около 45 000 прижизненных измерений 25 000 человек, а также результаты более чем 10 000 измерений костных аутопсий [12]. На основе этих данных была разработана биокинетическая модель для стронция, учитывающая пол и возраст индивида [13], которая позволяет оценивать концентрацию $^{89,90}\text{Sr}$ в тканях-источниках (трабекулы губчатой кости и кортикальная кость) после перорального единичного поступления. Недавно при использовании подходов стохастического моделирования была разработана новая дозиметрическая модель скелета человека (SPSD-модель) для 6 референтных возрастов с учетом пола [14, 15]. С ее помощью были определены новые дозиметрические коэффициенты для перехода от концентрации $^{89,90}\text{Sr}$ в тканях-источниках к дозе на ККМ. Результатом объединения этих моделей были рассчитанные новые дозовые коэффициенты в терминах Гр/Бк, связывающие пероральное поступление 1 Бк $^{89,90}\text{Sr}$ с дозой на ККМ (Гр). Основные отличия новых дозовых коэффициентов от ранее использованных [16] касаются детей первых лет жизни. Поскольку дозы на ККМ включены в алгоритм расчета доз на Т-лимфоциты и их предшественников, представляется важным использовать для анализа цитогенетических данных новые дозовые коэффициенты. Следует также отметить, что никогда ранее дозовые коэффициенты для Т-лимфоцитов при пероральном поступлении $^{89,90}\text{Sr}$ не оценивались.

Цель исследования – используя разработанную нами модель облучения Т-лимфоцитов и новые дозиметрические коэффициенты для ККМ, оценить коэффициенты перехода от перорального поступления $^{89,90}\text{Sr}$ к накопленной дозе на циркулирующие Т-лимфоциты и их предшественников.

Материалы и методы

Расчет дозовых коэффициентов (ДК_L), позволяющих перейти от перорального поступления 1 Бк $^{89,90}\text{Sr}$ к накопленной дозе на циркулирующие Т-лимфоциты (здесь и далее доза подразумевает учет облучения предшественников), осуществляется с использованием модели, которая была подробно описана ранее [3, 8–10]. В модели учитывается, что при облучении Т-прогенитора в ККМ потенциальный груз хромосомных aberrаций несут все его потомки, то есть целый набор Т-клонов с уникальными Т-клеточными рецепторами. Все потомки одного прогенитора и сам прогенитор объединяются в Т-клеточный род или Т-Genus (TG), который является объектом моделирования [8].

Средневзвешенный ДК_L рассчитывается как сумма двух дозовых коэффициентов, которые представляют собой: (1) ДК_{LP} – средневзвешенная доза облучения Т-лимфоцитов (Гр), накопленная в период пребывания прогениторов Т-клеток в ККМ при поступлении 1 Бк радионуклида $^{89,90}\text{Sr}$; и (2) ДК_{LC} – средневзвешенная доза на циркулирующие лимфоциты (Гр), которая представляет собой дозу, накопленную Т-лимфоцитами в период их циркуляции в организме человека после поступления 1 Бк $^{89,90}\text{Sr}$.

ДК_{LP} рассчитывается как среднее значение, взвешенное в соответствии с долей потомков каждого предшественника в периферической крови на момент забора крови:

$$\text{ДК}_{LP} = \frac{1}{P_{TG}(age_s)} \int_{t_1}^{t_s} p_{TG}(age) D_{\text{ККМ}}(t, age) dt; \quad (1)$$

где

t_1 – первый год накопления дозы от момента острого поступления 1Бк радионуклида с рационом;

t_s – год, на который рассчитывается накопленная доза;

age – возраст человека (годы), который варьирует от age_t (возраст поступления $^{89,90}\text{Sr}$) до возраста, на который считается накопленная доза age_s .

$P_{TG}(age)$ – общее число Т-клеточных родов, произведенных в период от рождения до указанного возраста (в относительных единицах), определяется как интеграл функции $f_{TG}(age)$:

$$P_{TG}(age) = \int_0^{age} f_{TG}(t) dt; \quad (2)$$

$$f_{TG}(age) = \begin{cases} 0,5 + 0,5 \cdot age, & 0 \leq age \leq 1 \\ \exp(-0,12 \cdot (age - 1)), & 1 < age \leq 8 \\ 0,4317 \cdot \exp(-0,04 \cdot (age - 8)), & 8 < age \leq 20 \\ 0,2671 \cdot \exp(-0,08 \cdot (age - 20)), & 20 < age \end{cases} \quad (3)$$

$P_{TG}(age)$ – число Т-клеточных родов (TG), произведенных за 1 год (в относительных единицах), которая рассчитывается интегрированием функции (3) для заданного возраста age .

$$p_{TG}(age) = \int_{age}^{age+1} f_{TG}(t) dt. \quad (4)$$

$D_{\text{ККМ}}(t, \text{age})$ – поглощенная доза на ККМ от поступления 1 Бк $^{89,90}\text{Sr}$, накопленная к возрасту age , рассчитывается на основе биокинетической и дозиметрической модели [13, 14].

D_{LC} представляет собой дозу, накопленную лимфоцитами в период их циркуляции в организме человека при поступлении 1 Бк $^{89,90}\text{Sr}$. Во время циркуляции лимфоциты проводят определенные доли времени в лимфоидных органах/тканях. D_{LC} рассчитывается как среднее значение, взвешенное в соответствии с долей лимфоцитов, которые включены в режим циркуляции в каждом возрасте; а также долей времени, проводимой циркулирующими лимфоцитами в 4 органах/тканях, наиболее подверженных облучению от $^{89,90}\text{Sr}$: красный костный мозг (ККМ), тонкий кишечник (sm), толстый кишечник (col), остальные внескелетные лимфоидные ткани (ВТ):

$$D_{\text{LC}, \text{Sr}} = \frac{1}{P_{\text{TG}}(\text{age}_{\text{samp}})} \int_{t_0}^{t_{\text{samp}}} P_{\text{TG}}(\text{age}) [K_{\text{ККМ}} \dot{D}_{\text{ККМ}}(t, \text{age}) + K_{\text{col}} \dot{D}_{\text{col}}(t, \text{age}) + K_{\text{sm}} \dot{D}_{\text{sm}}(t, \text{age}) + K_{\text{ВТ}} \dot{D}_{\text{ВТ}}(t, \text{age})] dt \quad (5)$$

где

$P_{\text{TG}}(\text{age})$ – количество Т-клеточных родов, произведенных в течение периода от рождения до age и переключившихся в режим циркуляции (рассчитывается согласно (2) в относительных единицах);

$\dot{D}_{\text{ККМ}}(t, \text{age})$ – годовая мощность поглощенной дозы в ККМ, которая зависит от возраста на момент поступления и текущего/календарного возраста, рассчитывалась на основе биокинетической и дозиметрической модели для Sr [13, 14];

$\dot{D}_{\text{col}}(t, \text{age})$ – годовая мощность поглощенной дозы в толстом кишечнике, зависит от возраста на момент поступления и текущего/календарного возраста; рассчитывалась на основе биокинетической и дозиметрической модели МКРЗ [16];

$\dot{D}_{\text{sm}}(t, \text{age})$ – годовая мощность поглощенной дозы в тонком кишечнике, зависит от возраста на момент поступления и текущего/календарного возраста; рассчитывалась на основе биокинетической и дозиметрической модели МКРЗ [16].

$\dot{D}_{\text{ВТ}}(t, \text{age})$ – годовая мощность поглощенной дозы в ВТ, которая зависит от возраста на момент поступления и текущего/календарного возраста, рассчитывалась на основе биокинетической модели [13, 16].

K_i – численные коэффициенты, отражающие долю времени, которую Т-лимфоциты при циркуляции проводят в соответствующих тканях [3], оценены для возрастных периодов 0–2 года и старше 2 лет (табл. 1).

Полная средневзвешенная лимфоцитарная доза D_{L} рассчитывается как сумма значений, полученных из уравнений (1) и (5). Численные значения $p_{\text{TG}}(\text{age})$ и $P_{\text{TG}}(\text{age})$ представлены в Приложении.

Влияние пола в биокинетической и дозиметрической модели учитывалось для возрастов старше 10 лет. Поэтому D_{L} для этих возрастов также рассчитывали с учетом пола.

Все дозовые коэффициенты для ^{90}Sr учитывают энергию распада ^{90}Sr и дочернего ^{90}Y , находящегося в равновесии.

Результаты и обсуждение

Рассчитанные дозовые коэффициенты для ^{90}Sr представлены в таблицах 2 и 3 для мужчин и женщин соответственно. Для ^{89}Sr дозовые коэффициенты представлены в таблицах 4 и 5. Поскольку параметры биокинетической модели для стронция в период от рождения до 5 лет меняются быстро и нелинейно, то для этого диапазона age , коэффициенты D_{L} рассчитывали с шагом по году. Именно для этого периода характерны максимальные значения D_{L} как для ^{90}Sr , так и для ^{89}Sr . Значительное уменьшение D_{L} с увеличением age , связано с возрастным снижением дозовых коэффициентов для ККМ и других тканей, а также с тем, что с возрастом увеличивается доля Т-клеточных родов, сформировавшихся до начала облучения. Вклад высокой «прогениторной дозы» ($D_{\text{L}, \text{P}}$, соответствует дозе на ККМ), в средневзвешенную дозу D_{L} снижается с 98% у новорожденных до 31% у 35-летнего человека.

Влияние пола на D_{L} выражено для детей 10 лет и старше. Однако и для детей младшего возраста можно отметить небольшие половые различия, которые накапливаются по мере взросления индивида. В целом, дозовый коэффициент D_{L} является результирующей действия многих зависящих от возраста процессов, включая всасывание радионуклида в кишечнике, отложение в костных объемах и т.п., которые происходят на фоне изменения размеров и структуры тканей человека.

Применяя модельный подход, мы впервые рассчитали дозовые коэффициенты D_{L} для изотопов стронция, которые могут загрязнять окружающую среду при аварийных ситуациях на предприятиях ядерного цикла. Основное преимущество нашей модели в том, что учитывается облучение Т-клеточных прогениторов в ККМ, а не только дозы на лимфоциты, полученные во время их пребывания в лимфоидных органах при циркуляции. Следует отметить, что наша модель опирается на средние значения продукции тимуса в разном возрасте [17–18] и параметров циркуляции Т-лимфоцитов [19–21], которые могут быть пересмотрены после накопления новых научных

Таблица 1

Значения коэффициентов K_i , отражающих долю времени, которую Т-лимфоциты при циркуляции проводят в соответствующих лимфоидных тканях

[Table 1

The values of the K_i coefficients that show the proportion of time T-lymphocytes spend in the corresponding lymphoid tissues during circulation]

Возрастной диапазон, годы [Age range, years]	ККМ, $K_{\text{ККМ}}$ [RBM, K_{rbm}]	Тонкий кишечник, K_{sm} [Small intestine, K_{sm}]	Толстый кишечник, K_{col} [Colon, K_{col}]	ВТ, $K_{\text{ВТ}}$
0–2	0,09	0,03	0,04	0,854
>2	0,10	0,022	0,025	0,853

Накопленная доза от ^{90}Sr на Т-лимфоциты и их предшественники (DC_L) для мужчин различного возраста, Гр/Бк
 Таблица 2
 Accumulated ^{90}Sr dose to T-lymphocytes and their progenitors (DC_L) for men of different age, Gy/Bq
 [Table 2]

Возраст забора крови (age_s), годы [Age at blood sampling (age_s), years]	Возраст (age_i) на момент поступления 1 Бк ^{90}Sr , годы [Age (age_i) at ingestion of 1 Bq ^{90}Sr , years]									
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35
5	5.20E-06	1.27E-06	3.27E-07	1.38E-07	6.39E-08	-	-	-	-	-
10	5.81E-06	1.59E-06	4.85E-07	2.56E-07	1.65E-07	1.16E-07	-	-	-	-
15	6.10E-06	1.74E-06	5.62E-07	3.15E-07	2.18E-07	1.67E-07	5.32E-08	-	-	-
20	6.27E-06	1.83E-06	6.05E-07	3.48E-07	2.48E-07	1.96E-07	8.00E-08	4.36E-08	-	-
25	6.36E-06	1.88E-06	6.30E-07	3.67E-07	2.65E-07	2.13E-07	9.60E-08	6.69E-08	-	-
30	6.41E-06	1.90E-06	6.44E-07	3.78E-07	2.75E-07	2.22E-07	1.06E-07	8.21E-08	1.72E-08	-
35	6.44E-06	1.92E-06	6.53E-07	3.85E-07	2.81E-07	2.28E-07	1.12E-07	9.20E-08	2.54E-08	-
40	6.46E-06	1.93E-06	6.58E-07	3.89E-07	2.85E-07	2.32E-07	1.16E-07	9.87E-08	3.04E-08	1.42E-08
45	6.48E-06	1.94E-06	6.62E-07	3.92E-07	2.87E-07	2.35E-07	1.18E-07	1.03E-07	3.36E-08	1.99E-08
50	6.48E-06	1.94E-06	6.64E-07	3.94E-07	2.89E-07	2.36E-07	1.20E-07	1.06E-07	3.57E-08	2.31E-08
55	6.49E-06	1.95E-06	6.65E-07	3.95E-07	2.90E-07	2.37E-07	1.21E-07	1.08E-07	3.71E-08	2.50E-08
60	6.49E-06	1.95E-06	6.67E-07	3.96E-07	2.91E-07	2.38E-07	1.22E-07	1.10E-07	3.80E-08	2.62E-08
65	6.50E-06	1.95E-06	6.67E-07	3.96E-07	2.91E-07	2.39E-07	1.22E-07	1.11E-07	3.87E-08	2.70E-08
70	6.50E-06	1.95E-06	6.68E-07	3.97E-07	2.91E-07	2.39E-07	1.23E-07	1.12E-07	3.91E-08	2.76E-08
75	6.50E-06	1.95E-06	6.68E-07	3.97E-07	2.92E-07	2.39E-07	1.23E-07	1.12E-07	3.94E-08	2.79E-08

Накопленная доза от ^{90}Sr на Т-лимфоциты и их предшественники (DC_L) для женщин различного возраста, Гр/Бк
 Таблица 3
 Accumulated ^{90}Sr dose to T-lymphocytes and their progenitors (DC_L) for women of different age, Gy/Bq
 [Table 3]

Возраст забора крови age_s , годы [Age at blood sampling (age_s), years]	Возраст (age_i) на момент поступления 1 Бк ^{90}Sr , годы [Age (age_i) at ingestion of 1 Bq ^{90}Sr , years]									
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35
5	5.20E-06	1.27E-06	3.27E-07	1.38E-07	6.39E-08	-	-	-	-	-
10	5.81E-06	1.59E-06	4.85E-07	2.57E-07	1.66E-07	1.17E-07	-	-	-	-
15	6.10E-06	1.74E-06	5.63E-07	3.16E-07	2.18E-07	1.68E-07	5.77E-08	-	-	-
20	6.27E-06	1.83E-06	6.07E-07	3.50E-07	2.49E-07	1.98E-07	8.83E-08	6.11E-08	-	-
25	6.36E-06	1.88E-06	6.32E-07	3.70E-07	2.67E-07	2.16E-07	1.07E-07	9.69E-08	-	-
30	6.42E-06	1.91E-06	6.47E-07	3.81E-07	2.78E-07	2.26E-07	1.19E-07	1.21E-07	2.19E-08	-
35	6.45E-06	1.93E-06	6.56E-07	3.88E-07	2.84E-07	2.33E-07	1.27E-07	1.37E-07	3.23E-08	-
40	6.47E-06	1.94E-06	6.62E-07	3.93E-07	2.88E-07	2.37E-07	1.32E-07	1.48E-07	3.88E-08	1.81E-08
45	6.49E-06	1.94E-06	6.66E-07	3.96E-07	2.91E-07	2.39E-07	1.35E-07	1.56E-07	4.30E-08	2.53E-08
50	6.50E-06	1.95E-06	6.68E-07	3.98E-07	2.93E-07	2.41E-07	1.37E-07	1.61E-07	4.57E-08	2.92E-08
55	6.50E-06	1.95E-06	6.70E-07	3.99E-07	2.94E-07	2.42E-07	1.39E-07	1.64E-07	4.74E-08	3.13E-08
60	6.51E-06	1.95E-06	6.71E-07	4.00E-07	2.95E-07	2.43E-07	1.40E-07	1.67E-07	4.86E-08	3.27E-08
65	6.51E-06	1.96E-06	6.72E-07	4.00E-07	2.95E-07	2.44E-07	1.41E-07	1.68E-07	4.94E-08	3.35E-08
70	6.51E-06	1.96E-06	6.72E-07	4.01E-07	2.96E-07	2.44E-07	1.41E-07	1.70E-07	4.99E-08	3.41E-08
75	6.51E-06	1.96E-06	6.72E-07	4.01E-07	2.96E-07	2.44E-07	1.41E-07	1.70E-07	5.03E-08	3.45E-08

Накопленная доза от ⁸⁹Sr на Т-лимфоциты и их предшественники (ДК_L) для мужчин различного возраста, Гр/Бк

Таблица 4

[Table 4]

Accumulated ⁸⁹Sr dose to T-lymphocytes and their progenitors (DC_L) for men of different age, Gy/Bq

Возраст забора крови <i>age_s</i> , годы [Age at blood sampling (<i>age_s</i>), years]	Возраст <i>age_i</i> , на момент поступления 1 Бк ⁸⁹ Sr, годы [Age (<i>age_i</i>) at ingestion of 1 Bq ⁹⁰ Sr, years]									
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35
5	4.59E-07	1.15E-07	2.88E-08	1.36E-08	7.76E-09	-	-	-	-	-
10	4.56E-07	1.20E-07	3.30E-08	1.74E-08	1.17E-08	8.62E-09	-	-	-	-
15	4.55E-07	1.22E-07	3.47E-08	1.90E-08	1.33E-08	1.03E-08	3.05E-09	-	-	-
20	4.55E-07	1.24E-07	3.57E-08	1.99E-08	1.43E-08	1.13E-08	3.79E-09	2.52E-09	-	-
25	4.55E-07	1.24E-07	3.62E-08	2.04E-08	1.48E-08	1.18E-08	4.20E-09	3.11E-09	-	-
30	4.54E-07	1.25E-07	3.65E-08	2.07E-08	1.51E-08	1.21E-08	4.44E-09	3.44E-09	9.16E-10	-
35	4.54E-07	1.25E-07	3.67E-08	2.09E-08	1.52E-08	1.23E-08	4.58E-09	3.65E-09	1.05E-09	-
40	4.54E-07	1.25E-07	3.68E-08	2.10E-08	1.54E-08	1.24E-08	4.67E-09	3.78E-09	1.13E-09	7.49E-10
45	4.54E-07	1.25E-07	3.69E-08	2.11E-08	1.54E-08	1.25E-08	4.73E-09	3.86E-09	1.19E-09	8.09E-10
50	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.11E-08	1.55E-08	1.26E-08	4.77E-09	3.91E-09	1.22E-09	8.48E-10
55	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.11E-08	1.55E-08	1.26E-08	4.79E-09	3.95E-09	1.24E-09	8.74E-10
60	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	4.81E-09	3.97E-09	1.26E-09	8.91E-10
65	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	4.82E-09	3.99E-09	1.27E-09	9.02E-10
70	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	4.83E-09	4.00E-09	1.28E-09	9.10E-10
75	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.27E-08	4.83E-09	4.00E-09	1.28E-09	9.15E-10

Накопленная доза от ⁸⁹Sr на Т-лимфоциты и их предшественники (ДК_L) для женщин различного возраста, Гр/Бк

Таблица 5

[Table 5]

Accumulated ⁸⁹Sr dose to T-lymphocytes and their progenitors (DC_L) for women of different age, Gy/Bq

Возраст забора крови <i>age_s</i> , годы [Age at blood sampling (<i>age_s</i>), years]	Возраст <i>age_i</i> , на момент поступления 1 Бк ⁸⁹ Sr, годы [Age (<i>age_i</i>) at ingestion of 1 Bq ⁹⁰ Sr, years]									
	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35
5	4.59E-07	1.15E-07	2.88E-08	1.36E-08	7.76E-09	-	-	-	-	-
10	4.56E-07	1.20E-07	3.30E-08	1.74E-08	1.17E-08	8.62E-09	-	-	-	-
15	4.55E-07	1.22E-07	3.47E-08	1.90E-08	1.33E-08	1.03E-08	3.70E-09	-	-	-
20	4.55E-07	1.24E-07	3.57E-08	1.99E-08	1.43E-08	1.13E-08	4.63E-09	3.08E-09	-	-
25	4.55E-07	1.24E-07	3.62E-08	2.04E-08	1.48E-08	1.18E-08	5.15E-09	3.82E-09	-	-
30	4.54E-07	1.25E-07	3.65E-08	2.07E-08	1.51E-08	1.21E-08	5.45E-09	4.25E-09	1.13E-09	-
35	4.54E-07	1.25E-07	3.67E-08	2.09E-08	1.52E-08	1.23E-08	5.63E-09	4.50E-09	1.30E-09	-
40	4.54E-07	1.25E-07	3.68E-08	2.10E-08	1.54E-08	1.24E-08	5.74E-09	4.67E-09	1.41E-09	9.23E-10
45	4.54E-07	1.25E-07	3.69E-08	2.11E-08	1.54E-08	1.25E-08	5.82E-09	4.77E-09	1.48E-09	9.99E-10
50	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.11E-08	1.55E-08	1.26E-08	5.86E-09	4.84E-09	1.52E-09	1.05E-09
55	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.11E-08	1.55E-08	1.26E-08	5.90E-09	4.88E-09	1.55E-09	1.08E-09
60	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	5.92E-09	4.91E-09	1.57E-09	1.10E-09
65	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	5.93E-09	4.93E-09	1.58E-09	1.12E-09
70	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.26E-08	5.94E-09	4.95E-09	1.59E-09	1.13E-09
75	4.54E-07	1.25E-07	3.70E-08	2.12E-08	1.55E-08	1.27E-08	5.95E-09	4.95E-09	1.60E-09	1.13E-09

данных. Таким образом, рассчитанные нами значения ДК_L следует рассматривать как приблизительные, однако они позволяют сопоставить дозы от изотопов стронция, накопленные в лимфоидных органах и Т-лимфоцитах.

Для примера на рисунке показано сопоставление доз от единичного поступления ⁹⁰Sr, накопленных к возрасту

60 лет (*age_s*) в лимфоидных органах и Т-лимфоцитах. Сопоставление сделано для различных возрастов на момент поступления радионуклида *age_i*. Рисунок хорошо иллюстрирует неравномерность воздействия ⁹⁰Sr на организм, различия между дозовыми коэффициентами для ККМ и других лимфоидных тканей составляют около

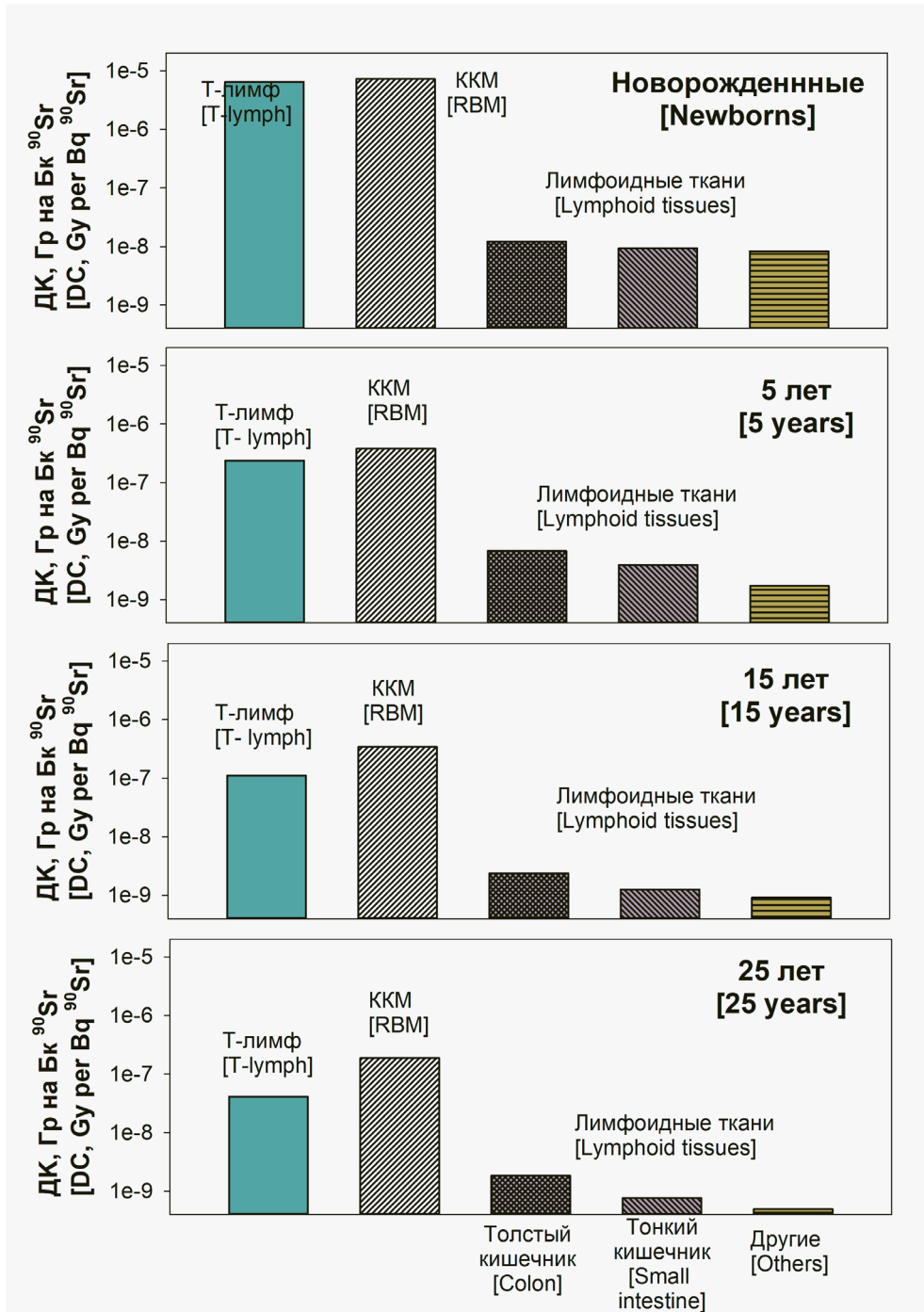


Рис. Сопоставление доз от единичного поступления ^{90}Sr , накопленных к возрасту 60 лет (age_s) в Т-лимфоцитах, красном костном мозге (ККМ), лимфоидных тканях толстого и тонкого кишечника и других лимфоидных внескелетных тканях для следующих возрастов на момент поступления ^{90}Sr (age_1): новорожденные, 5, 15, 25 лет

[Fig.] Comparison of doses from a single intake of ^{90}Sr accumulated by the age of 60 (age_s) in T-lymphocytes, red bone marrow (RBM), lymphoid tissues of the colon and small intestine, and other lymphoid extra-skeletal tissues for the following age at the time of ^{90}Sr intake (age_1): newborns, 5, 15, 25 years]

3 порядков величины. Как следует из рисунка, дозы на Т-лимфоциты во всех случаях ниже, чем дозы на ККМ, но выше, чем дозы на лимфоидные ткани кишечника и другие ткани. С увеличением age_1 различия между дозами на ККМ и Т-лимфоциты увеличиваются.

В продолжении нашей работы мы планируем решить задачу, которая имеет важное практическое значение для

биодозиметрии: создать алгоритм и определить численные значения переходных коэффициентов, позволяющих оценить дозу на ККМ непосредственно по частоте транслокаций в Т-лимфоцитах периферической крови в зависимости от возраста донора при внутреннем облучении ^{90}Sr . Следует отметить, что алгоритмы расчета дозы на ККМ по частоте хромосомных aberrаций в Т-лимфоцитах

при неравномерном облучении человека разработаны только для нестабильных хромосомных aberrаций (дигцентрики, кольца), частоту которых необходимо оценить в короткий период после радиационного воздействия [1].

Выводы

1. Впервые были определены дозовые коэффициенты, позволяющие перейти от перорального поступления $^{89,90}\text{Sr}$ к дозе на циркулирующие Т-лимфоциты; эти радионуклиды могут вносить существенный вклад в аварийное радиоактивное загрязнение и приводят к неравномерному внутреннему облучению человека.

2. Дозы на циркулирующие Т-лимфоциты оказываются ниже, чем дозы на ККМ от этих радионуклидов, но существенно выше, чем дозы на другие лимфоидные ткани. Эти дозы впервые учитывают облучение Т-прогениторов в ККМ.

Личный вклад авторов

Толстых Е.И. – написание статьи, дизайн исследований; Дегтева М.О. – разработка концепции, редактирование статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность В.А. Кривошапову за техническую помощь в работе.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Работа была выполнена при финансовой поддержке ФМБА России, номер государственного учёта НИР в ЕГИСУ 122040400135-0.

Литература

- МАГАТЭ. Использование цитогенетической дозиметрии для обеспечения готовности и реагирования при радиационных аварийных ситуациях. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR_Biodosimetry2011R_web.pdf (Дата обращения: 17.05.2022).
- Giussani A., Lopez M.A., Romm H., et al. Eurados review of retrospective dosimetry techniques for internal exposures to ionising radiation and their applications // *Radiation Environmental Biophysics*. 2020. Vol. 59., No 3. P. 357-387. DOI: 10.1007/s00411-020-00845-y.
- Толстых Е.И., Дегтева М.О., Аклеев А.В. Оценка доз облучения лимфоцитов при пероральном поступлении радионуклидов различной тропности. // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 3. С. 18-28. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-18-28>.
- Mayer A., Balasubramanian V., Mora T., Walczak A.M. How a well-adapted immune system is organized // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2015. V.112. № 19. P. 5950-5955. DOI:10.1073/pnas.1421827112.
- Britanova O.V., Shugay M., Merzlyak E.M., et al. Dynamics of individual T cell repertoires: from cord blood to centenarians // *Journal of Immunology*. 2016. Vol. 196, No 12. P. 5005–5013. DOI: 10.4049/jimmunol.1600005.
- Naumova E.N., Gorski J., Naumo Y.N. Simulation studies for a multistage dynamic process of immune memory response to influenza: experiment in silico // *Annales Zoologici Fennici*. 2008. Vol. 45. P. 369–384. DOI: 10.5735/086.045.0502.
- Yoshida K., Cologne J.B., Cordova K., et al. Aging-related changes in human T-cell repertoire over 20 years delineated by deep sequencing of peripheral T-cell receptors // *Experimental Gerontology*. 2017. Vol. 1, No 96. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.exger.2017.05.015.
- Толстых Е.И., Возилова А.В., Дёгтева М.О., и др. Концепция Т-клеточного рода как основа для анализа результатов цитогенетических исследований при локальном облучении костного мозга // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020. Т. 60, № 1. С. 12-25. DOI: 10.31857/S0869803120010142.
- Tolstykh E.I., Degteva M.O., Vozilova A.V., et al. Local bone-marrow exposure: how to interpret the data on stable chromosome aberrations in circulating lymphocytes? (some comments on the use of FISH method for dose reconstruction for Techa riverside Residents) // *Radiation Environmental Biophysics*. 2017. Vol. 56, No 4. P. 389-403. DOI: 10.1007/s00411-017-0712-7.
- Tolstykh E.I., Degteva M.O., Vozilova A.V., et al. Interpretation of FISH results in the case of nonuniform internal radiation exposure of human body with the use of model approach // *Russian Journal of Genetics*. 2019. Vol. 55, No 10. P.1227–1233. <https://doi.org/10.1134/S1022795419100132>.
- Дегтева М.О., Шагина Н.Б., Воробьева М.И., и др. Современное представление о радиоактивном загрязнении реки Теча в 1949–1956 гг. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2016. Т. 56, № 5. С. 523–534. DOI: 10.7868/S0869803116050039.
- Дёгтева М.О., Толстых Е.И., Суслова Г.К., и др. Анализ результатов мониторинга содержания долгоживущих радионуклидов в организме жителей Уральского региона // *Радиационная гигиена*. 2018. Т. 11, № 3. С. 30-39. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-30-39>.
- Shagina N.B., Tolstykh E.I., Degteva M.O., et al. Age and gender specific biokinetic model for strontium in humans // *Journal of Radiological Protection*. 2015. Vol. 35, No 1. P. 87-127. DOI: 10.1088/0952-4746/35/1/87.
- Дёгтева М.О., Шишкина Е.А., Толстых Е.И., и др. Методологический подход к разработке дозиметрических моделей скелета человека для бета-излучающих радионуклидов // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 2. С. 66-75. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-66-75>.
- Shishkina E.A., Timofeev Y.S., Volchkova A.Y., et al. Trabecula: A Random Generator of Computational Phantoms for Bone Marrow Dosimetry // *Health Physics*. 2020. Vol. 118, No 1. P. 53-59. DOI: 10.1097/HP.0000000000001127. PMID: 31764420.
- ICRP. Human alimentary tract model for radiological protection. Publication 100. A report of The International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 2006. Vol. 36, No 1-2. P. 25-327, iii. DOI: 10.1016/j.icrp.2006.03.004. PMID: 17188183.
- Bains I. Mathematical Modelling of T Cell Homeostasis. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University College London, 2010. URL: <http://discovery.ucl.ac.uk/20159/1/20159.pdf> (Дата обращения: 23.07.2021).
- Bains I., Yates A.J., and Callard R.E., Heterogeneity in thymic emigrants: implications for thymectomy and immunosenescence // *PLoS One*. 2013. Vol. 8, No 2. P. e49554. DOI: 10.1371/journal.pone.0049554.
- Westermann J., Pabst R. Distribution of lymphocyte subsets and natural killer cells in the human body // *Journal of Clinical Investigation*. 1992. Vol. 70, No 7. P. 539-44. DOI: 10.1007/BF00184787.
- Blum K.S., Pabst R. Lymphocyte numbers and subsets in the human blood. Do they mirror the situation in all organs? // *Immunology Letters*. 2007. Vol. 108, No 1. P. 45-51. DOI: 10.1016/j.imlet.2006.10.009.
- Kumar B.V., Connors T.J., Farber D.L. Human T. Cell Development, Localization, and Function throughout Life // *Immunity*. 2018. Vol. 48, No. 2. P. 202-213. DOI: 10.1016/j.immuni.2018.01.007.

Поступила: 23.05.2022 г.

Приложение

Численные значения ρ_{TG} и P_{TG} в относительных единицах для различных возрастов

Таблица А

[Appendix

Table A

Numerical values ρ_{TG} and P_{TG} in relative units for different ages]

Возраст age, год	ρ_{TG}	P_{TG}	Возраст age, год	ρ_{TG}	P_{TG}
0	0.75	0.75	35	0.077315	12.01048
1	0.94233	1.69233	36	0.071371	12.08185
2	0.835771	2.528101	37	0.065884	12.14773
3	0.741263	3.269364	38	0.060818	12.20855
4	0.657441	3.926805	39	0.056142	12.26469
5	0.583098	4.509903	40	0.051826	12.31652
6	0.517162	5.027065	41	0.047841	12.36436
7	0.458681	5.485746	42	0.044163	12.40853
8	0.42318	5.908926	43	0.040768	12.44929
9	0.406587	6.315512	44	0.037633	12.48693
10	0.390644	6.706157	45	0.03474	12.52167
11	0.375327	7.081484	46	0.032069	12.55373
12	0.36061	7.442094	47	0.029603	12.58334
13	0.34647	7.788564	48	0.027327	12.61066
14	0.332885	8.12145	49	0.025226	12.63589
15	0.319833	8.441282	50	0.023287	12.65918
16	0.307292	8.748574	51	0.021496	12.68067
17	0.295243	9.043817	52	0.019844	12.70052
18	0.283666	9.327483	53	0.018318	12.71884
19	0.272543	9.600026	54	0.01691	12.73575
20	0.256695	9.856721	55	0.01561	12.75136
21	0.23696	10.09368	56	0.01441	12.76577
22	0.218741	10.31242	57	0.013302	12.77907
23	0.201924	10.51435	58	0.012279	12.79135
24	0.186399	10.70074	59	0.011335	12.80268
25	0.172068	10.87281	60	0.010463	12.81314
26	0.158839	11.03165	61	0.009659	12.8228
27	0.146627	11.17828	62	0.008916	12.83172
28	0.135353	11.31363	63	0.008231	12.83995
29	0.124947	11.43858	64	0.007598	12.84755
30	0.115341	11.55392	65	0.007014	12.85456
31	0.106473	11.66039	66	0.006475	12.86104
32	0.098287	11.75868	67	0.005977	12.86701
33	0.09073	11.84941	68	0.005517	12.87253
34	0.083754	11.93316	69	0.005093	12.87762

Толстых Евгения Игоревна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник биофизической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 454141, Россия, Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А; E-mail: evgenia@urcrm.ru

Дегтева Марина Олеговна – кандидат технических наук, заведующая биофизической лабораторией Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства России, Челябинск, Россия

Для цитирования: Толстых Е.И., Дегтева М.О. Оценка доз облучения лимфоцитов и их предшественников при пероральном поступлении стронция-89,90 // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 82-91. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-82-91

Estimation of radiation doses on lymphocytes and their progenitors after ingestion of strontium-89,90

Evgenia I. Tolstykh, Marina O. Degteva

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

In radiobiology circulating T-lymphocytes are used as “natural biosimeters” since the frequency of chromosomal aberrations that occur in them after radiation exposure is proportional to the accumulated dose. In addition, stable chromosomal aberrations (translocations) are detected in them years and decades after radiation exposure. Estimation of doses to circulating lymphocytes requires consideration of two dose components: the dose accumulated by the lymphocyte precursors (progenitors) in the red bone marrow; and dose accumulated by the lymphocytes in the lymphoid organs/tissues during circulation. A recently created model of T-lymphocyte exposure takes into account all these dose components, as well as the age-dependent dynamics of T-lymphocytes. The use of a model approach is especially important in assessing doses from osteotropic beta emitters ($^{89,90}\text{Sr}$). They accumulate in the bone and locally expose predominately bone marrow. The dose to other lymphoid organs and tissues is much lower. The objective of this study is to evaluate the conversion factors from ingested $^{89,90}\text{Sr}$ to the cumulative dose to circulating T-lymphocytes and their progenitors (DC_L). For calculations, the previously developed model of T-lymphocyte exposure and new dose coefficients for the red bone marrow, estimated on the basis of a sex-and-age-dependent biokinetic model and a new dosimetric model of the human skeleton were used. As a result, the DC_L values were evaluated for the first time. The age at the time of $^{89,90}\text{Sr}$ intake varied from a newborn to 35 years, the age of T-lymphocyte examination (blood sampling age) was up to 75 years. The maximum values of DC_L for both ^{90}Sr and ^{89}Sr were typical of children in the first years of life. It has been shown that doses to circulating T-lymphocytes from these radionuclides are lower than those to bone marrow, but are significantly higher than doses to other lymphoid tissues. The effect of sex on DC_L is manifested for children 10 years of age and older. The area of DC_L application covers the population of radioactively contaminated territories (the Urals region, the zone of the Chernobyl accident), as well as personnel of the nuclear industry enterprises.

Key words: T-lymphocytes, dose coefficients, $^{89,90}\text{Sr}$, internal exposure; biodosimetry.

Authors' personal contribution

Tolstykh E.I. – article writing, research design; Degteva M.O. – concept development, article editing.

Acknowledgment

The authors are grateful to V.A. Krivoshchapov for technical assistance in the work.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Financial support

The work was carried out with the financial support of the Federal Medical and Biological Agency of Russia,

Evgenia I. Tolstykh

Urals Research Center for Radiation Medicine

Address for correspondence: Vоровsky str., 68a, Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: evgenia@urcrm.ru

state registration number of research work in EGISU 122040400135-0].

References

- IAEA Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies (EPR-Biodosimetry-2011). International Atomic Energy Agency, Department of Nuclear Safety and Security, Incident and Emergency Centre, Vienna (Austria) (2011). Available from: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/025/43025992.pdf?r=1 (Accessed 19 May 2022).
- Giussani A, Lopez MA, Romm H, et al. Eurados review of retrospective dosimetry techniques for internal exposures to ionising radiation and their applications. *Radiation Environmental Biophysics*. 2020; 59(3):357-387. DOI: 10.1007/s00411-020-00845-y.
- Tolstykh EI, Degteva MO, Akleyev AV. Estimation of lymphocyte radiation doses after the ingestion of radionuclides of different tropicity. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 18-28. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-18-28.
- Mayer A, Balasubramanian V, Mora T, Walczak AM. How a well-adapted immune system is organized. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2015;112(19): 5950-5955. DOI:10.1073/pnas.1421827112.
- Britanova OV, Shugay M, Merzlyak EM, et al. Dynamics of individual T cell repertoires: from cord blood to centenarians. *Journal of Immunology*. 2016;196(12): 5005-5013. DOI:10.4049/jimmunol.1600005.
- Naumova EN, Gorski J, Naumov YN. Simulation studies for a multistage dynamic process of immune memory response to influenza: experiment in silico. *Annales Zoologici Fennici*. 2008;45: 369-384. DOI: 10.5735/086.045.0502.
- Yoshida K, Cologne JB, Cordova K, et al. Aging-related changes in human T-cell repertoire over 20 years delineated by deep sequencing of peripheral T-cell receptors. *Experimental Gerontology*. 2017;1(96): 29-37. DOI:10.1016/j.exger.2017.05.015.
- Tolstykh EI, Vozilova AV, Degteva MO, Akleyev AV. Concept of T-Cell Genus as the Basis for the Analysis of Fish Results after Local Bone Marrow Exposure. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2020;60(1): 12-25. (In Russian). DOI: 10.31857/S0869803120010142.
- Tolstykh EI, Degteva MO, Vozilova AV, et al. Local bone-marrow exposure: how to interpret the data on stable chromosome aberrations in circulating lymphocytes? (some comments on the use of FISH method for dose reconstruction for Techa riverside Residents). *Radiation Environmental Biophysics*. 2017;56(4): 389-403. DOI: 10.1007/s00411-017-0712-7.
- Tolstykh EI, Degteva MO, Vozilova AV, et al. Interpretation of FISH results in the case of nonuniform internal radiation exposure of human body with the use of model approach. *Russian Journal of Genetics*. 2019;55(10): 1227-1233. <https://doi.org/10.1134/S1022795419100132>.
- Degteva MO, Shagina NB, Vorobyeva MI, et al. Contemporary Understanding of Radioactive Contamination of the Techa River in 1949-1956. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2016;56(5): 523-534. (In English, In Russian). DOI: 10.7868/S0869803116050039.
- Degteva MO, Tolstykh EI, Suslova KG, Romanov SA, Akleyev AV. Analysis of the results of long-lived radionuclide body burden monitoring in residents of the Urals region. *Radiatsionnaya gygiena=Radiation Hygiene*. 2018;11(3): 30-39. (In Russian). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-30-39>.
- Shagina NB, Tolstykh EI, Degteva MO, et al. Age and gender specific biokinetic model for strontium in humans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(1): 87-127. DOI: 10.1088/0952-4746/35/1/87.
- Degteva MO, Shishkina EA, Tolstykh EI, Zalyapin VI, Sharagin PA, Smith MA, Napier BA. Methodological approach to development of dosimetric models of the human skeleton for beta-emitting radionuclides. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2):66-75. (In Russian). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-66-75>.
- Shishkina EA, Timofeev YS, Volchkova AY, et al. Trabecula: A Random Generator of Computational Phantoms for Bone Marrow Dosimetry. *Health Physics*. 2020;118(1): 53-59. DOI: 10.1097/HP.0000000000001127. PMID: 31764420.
- ICRP, Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. A report of The International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 2006;36(1-2):25-327, iii. DOI: 10.1016/j.icrp.2006.03.004. PMID: 17188183.
- Bains I. Mathematical Modelling of T Cell Homeostasis. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University College London, 2010. Available from: <http://discovery.ucl.ac.uk/20159/1/20159.pdf> (Accessed 23 Jul 2021).
- Bains I, Yates AJ, Callard RE. Heterogeneity in thymic emigrants: implications for thymectomy and immunosenescence. *PLoS One*. 2013;8(2): e49554. doi 10.1371/journal.pone.0049554.
- Westermann J, Pabst R. Distribution of lymphocyte subsets and natural killer cells in the human body. *Journal of Clinical Investigation*. 1992;70(7): 539-44. DOI: 10.1007/BF00184787.
- Blum KS, Pabst R. Lymphocyte numbers and subsets in the human blood. Do they mirror the situation in all organs? *Immunology Letters*. 2007;108(1): 45-51. DOI: 10.1016/j.imlet.2006.10.009.
- Kumar BV, Connors TJ, Farber DL. Human T. Cell Development, Localization, and Function throughout Life. *Immunity*. 2018;48(2): 202-213. DOI: 10.1016/j.immuni.2018.01.007.

Received: May 23, 2022

For correspondence: Evgenia I. Tolstykh – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of biophysical laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency (Vorovsky str., 68a, Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: evgenia@urcrm.ru)

Marina O. Degteva – Candidate of Technical Sciences, Head, biophysical laboratory, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

For citation: Tolstykh E.I., Degteva M.O. Estimation of radiation doses on lymphocytes and their progenitors after ingestion of strontium-89,90. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 82-91. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-82-91

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

С.А. Рыжов^{1,2}, А.В. Водоватов³, И.В. Солдатов¹, З.А. Лантух¹, А.Н. Мухортова¹, Ю.В. Дружинина^{1,4}, П.С. Дружинина³

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

² Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева Министерства здравоохранения России, Москва, Россия

³ 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

⁴ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения России, Москва, Россия

Цель: сравнить источники информации и оценить динамику изменений уровня дозовых нагрузок на пациентов при проведении рентгенологических и радионуклидных исследований в медицинских организациях г. Москвы за период с 2017 по 2020 г. Материал и методы: собраны и проанализированы отчетные формы № 3-ДЮЗ, радиационно-гигиенический паспорт и форма № 30 за 2017–2020 гг., полученные от медицинских организаций города Москвы различных форм собственности. Проведен анализ основных показателей, определяющих состояние радиационной безопасности при медицинском облучении: числа медицинских организаций, использующих источники ионизирующего излучения, аппаратного парка лучевой диагностики, структуру лучевой диагностики и коллективных доз от медицинского облучения. Результаты: представленный в статье анализ трендов развития лучевой диагностики в Москве показывает, что с каждым годом увеличивается число организаций, использующих источники ионизирующего излучения; в среднем на 10% в год растет число компьютерных томографов, наблюдается примерно такой же рост числа компьютерно-томографических исследований. Так, за период 2017–2019 гг. ежегодный прирост числа исследований составил 10%; в период 2019–2020 гг. – 30%, что связано с эпидемией новой коронавирусной инфекции COVID-19. Рост коллективной дозы от медицинского облучения соответствует росту числа рентгенологических исследований. Сравнение рассмотренных отчетных форм и данных из единой рентгеновской информационной системы показывает, что все формы обладают своими достоинствами и недостатками, которые подробно рассмотрены в статье. Для комплексной оценки состояния лучевой диагностики необходима компиляция данных из различных форм статистической отчетности, что негативным образом влияет на достоверность и репрезентативность данных. Следует отметить, что во всех рассмотренных формах отсутствуют данные по индивидуальным и накопленным дозам пациентов, а также стандартным (типичным) дозам для аппаратов для рентгеновской и радионуклидной диагностики. Существующий формат сбора данных не позволяет получать данные и анализировать информацию в оперативном режиме. Заключение: среди проанализированных отчетных форм нет полностью отвечающей задачам текущей оценки ситуации и оперативного управления дозами облучения населения. Часть данных фактически дублируют друг друга, а имеющиеся расхождения скорее свидетельствуют о сложностях при сборе и обобщении информации, чем об отличиях в отчетных формах. Действующие формы требуют пересмотра, объединения, уточнения и автоматизации процессов сбора данных. Дальнейшее внедрение электронных систем учета и контроля доз облучения пациентов и систем мониторинга и отчетности следующего поколения, а также систем межведомственного взаимодействия и создание электронного кабинета организаций позволят снизить вероятность непредставления отчетной документации, сделать ее более объективной и представить все данные, необходимые для оптимизации радиационной защиты пациентов.

Ключевые слова: радиационная безопасность, дозы облучения, пациент, рентгенология, радиология, компьютерная томография, флюорография, лучевая диагностика, отчетная форма, аналитика.

Рыжов Сергей Анатольевич

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий

Адрес для переписки: 117997, Россия, г. Москва, ГСП-7, ул. Саморы Машела, д. 1; E-mail: mosrg@mail.ru

Введение

С момента своего открытия и до настоящего времени лучевые методы остаются неотъемлемой частью современной диагностики подавляющего большинства патологических состояний, а также активно применяются при проведении периодических медицинских осмотров работающего населения для скрининга и профилактических исследований с целью выявления ряда социально-значимых заболеваний. По оценке НКДАР ООН расчетное годовое количество медицинских радиологических исследований, выполняемых в течение года в мире, составляет 4194 млн, которые приходятся на 7312 млн населения [1], т.е. примерно 11,5 млн человек ежедневно подвергаются воздействию ионизирующего излучения в медицинских целях. При этом доступность методов лучевой диагностики, а следовательно, количество проводимых исследований и лучевая нагрузка на население существенно отличаются в зависимости от страны, уровня медицинского обслуживания и уровня доходов. По данным радиационно-гигиенической паспортизации, в Российской Федерации в 2020 г. было выполнено более 265 млн исследований (в среднем чуть менее 2 процедур на одного жителя России) [7–12]. Таким образом, с некоторой долей условности можно предположить, что в Российской Федерации выполняется около 6,3% всех проводимых в мире лучевых исследований. Однако при этом следует учитывать, что структура медицинского облучения населения Российской Федерации по видам процедур существенно отличается от большинства развитых стран, в первую очередь, за счет значительного количества флюорографических исследований, что требует отдельного рассмотрения и обсуждения [14].

При оценке внутрироссийской структуры лучевой диагностики обращает на себя внимание существенная географическая неоднородность в распределении исследований по субъектам Российской Федерации. По данным радиационно-гигиенической паспортизации максимальное число рентгенорадиологических исследований (РРИ) за последние годы выполнялось в г. Москве [7–12]. Специфика московского региона, заключающаяся в высокой интенсивности работы медицинских организаций и плотности размещения медицинских источников ионизирующего излучения (ИИИ), определяет высокую доступность для населения методов лучевой диагностики. Также следует

отметить значительный вклад внутреннего медицинского туризма, связанного с нахождением в Москве большого количества федеральных медицинских центров и большого количества квалифицированного медицинского персонала. Это приводит к увеличению в структуре лучевой диагностики удельного вклада высокотехнологичных и высокодозных исследований, таких как компьютерная томография (КТ), позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), диагностических и терапевтических интервенционных вмешательств. В свою очередь, большое количество современного цифрового оборудования приводит к высокой степени информатизации лучевой диагностики. В соответствии с данными из форм государственной статистической отчетности в Москве выполняется максимальное количество компьютерных томографий и интервенционных исследований среди всех субъектов Российской Федерации [2, 7–12].

Перечисленные региональные особенности необходимо учитывать при проведении сравнительного анализа структуры медицинского облучения населения. Следует отметить, что приведенные характеристики региона свидетельствуют о соответствии Москвы общемировым тенденциям в развитии лучевой диагностики, характерным для большинства европейских стран и США [1], в частности, имеют место увеличение количества высокодозовых исследований и рост коллективных доз облучения населения [7–12]. Таким образом, анализ данных по г. Москве может быть рассмотрен как прогноз развития структуры медицинского облучения населения в ближайшие годы в других субъектах Российской Федерации.

Постоянный рост числа высокодозных исследований и ассоциированной с ними коллективной дозы населения московского региона от медицинского облучения [2, 7–12] обуславливает необходимость принятия управленческих решений¹, направленных на минимизацию негативных последствий воздействия медицинских ИИИ на население, в частности, в рамках принципов обоснования и оптимизации^{2,3}. Однако принятие управленческих решений должно быть основано на достоверной и полной информации о медицинских организациях, их оснащении персоналом и оборудованием для рентгеновской и радионуклидной диагностики, понимании структуры лучевой диагностики, правильной оценки коллективной дозы от медицинского облучения, а также индивидуаль-

¹ П 75 Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / сост. З.А. Лантух, Ю.В. Дружинина, А.В. Водоватов и [др.]; под ред. С.П. Морозова // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 86. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 36 с. [P 75 The use of diagnostic reference levels for adult patients in radiology/Z.A. Lantukh, Yu.V. Druzhinina, A.V. Vodovатов et al.; ed. S.P. Morozov//Best Practices radiation and instrumental diagnostics. Issue 86. М.: ГБУЗ "NPKTs DiT DZM", 2020. 36 p. (In Russ.)]

² И 74 Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 1. Диагностика патологических состояний и заболеваний органов грудной клетки: методические рекомендации / сост. И. А. Соколина, С. П. Морозов, А. В. Водоватов [и др.]; под ред. С.П. Морозова // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 16. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. М., 2020. 32 с. [I 74 The effectiveness of X-ray diagnostic methods for various pathological body conditions. Section 1. Diagnosis of pathological conditions and diseases of the chest: guidelines/I. A. Sokolina, S.P. Morozov, A.V. Vodovатов, et al; ed. S.P. Morozov//Best practices of radiological and instrumental diagnostics. Issue 16. 2nd ed., revised and additional. М.: ГБУЗ "NPKTs DiT DZM", 2020. Moscow, 2020. 32 p. (In Russ.)]

³ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (ред. от 16.09.2013) «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.)]

ных доз облучения пациентов, с этой целью должны быть корректно установлены референтные диагностические уровни и определены стандартные (типичные) дозы⁴, характерные для конкретного региона. Данные сведения также целесообразно использовать для оценки популяционных и индивидуализированных радиационных рисков с целью оценки последствий медицинского облучения⁵ [15–17].

При своевременном и обоснованном назначении методов лучевой диагностики потенциальная польза от их применения существенно превосходит возможные радиационные риски, однако при правильной организации процессов получения информации корректный учет доз и оценка состояния оборудования позволит выявить и снизить вероятность возникновения случаев избыточного облучения пациентов, а также выявлять случаи экстремально высоких доз, попадающих под категорию радиационных аварий и инцидентов, а также начать систематическую работу по выявлению необоснованных исследований [15–17].

Существующие радиационные риски, связанные с лучевой диагностикой, относительно невелики в отношении единичного исследования⁶, однако в случаях нарушения требований радиационной безопасности или при многократных повторных исследованиях могут стать значимым фактором неблагоприятного воздействия как для конкретного человека, так и в виде коллективных рисков облучения населения или его части.

К сожалению, в Российской Федерации получение достоверной информации о дозах облучения пациентов и структуре лучевой диагностики существенно затруднено. На уровне медицинской организации агрегированные данные о коллективных дозах медицинского облучения и числе выполненных РРИ собираются в рамках формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ, «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований»⁷. Функционал формы № 3-ДОЗ позволяет также определить среднюю эффективную дозу для отдельной анатомической области исследования для каждого метода лучевой диагностики. При этом дозы и число выполненных исследований приводятся в

обобщенном виде для всех аппаратов для рентгеновской и радионуклидной диагностики, установленных в медицинской организации; получить данные для отдельного рентгеновского аппарата в рамках данной формы в настоящее время практически невозможно. Сведения из формы № 3-ДОЗ также используются при заполнении радиационно-гигиенических паспортов (РГП) организаций и территорий.

Более детальная информация о структуре лучевой диагностики и аппаратного парка в медицинских организациях представлена в форме федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации»⁸. Данная форма содержит информацию о различных элементах работы медицинской организации, таких как количество кабинетов и отделений, количество оборудования с разбивкой как по модальности, так и по сроку службы, количеству исследований, кадровом составе, включая сведения об уровне квалификации (наличии квалификационных категорий), занятых, декретных и вакантных ставках и много другой информации. Однако в данной отчетной форме отсутствует информация о дозах облучения пациентов; также ее не сдают ведомственные и частные медицинские организации.

В 2017 г. Департаментом здравоохранения города Москвы начато внедрение единой рентгеновской информационной системы (ЕРИС), к концу 2020 г. к данной системе было подключено почти 1300 единиц тяжелого медицинского оборудования (74% от всего парка рентгенологического оборудования Департамента здравоохранения города Москвы (ДЗМ)). Все исследования, проводимые на подключенном оборудовании, автоматически поступают в единую информационную базу без дополнительных действий со стороны персонала. На момент подготовки настоящей статьи к указанной системе подключено более 146 медицинских организаций ДЗМ и 12 учреждений, выполняющих ПЭТ-/КТ-исследования в рамках программы обязательного медицинского страхования (ОМС).

Отсутствие единого источника данных по структуре лучевой диагностики и дозам облучения пациентов, а также избыточное обобщение (укрупнение) представленной в них информации приводит к ошибкам в интерпретации данных, не позволяет адекватно и оперативно

⁴ Роспотребнадзор. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения. Методические рекомендации МР 2.6.1.066-12 [The Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection. The use of diagnostic reference levels to optimize radiation protection of patient in general X-ray examinations. Guidelines MR 2.6.1.066-12 (In Russ.)]

⁵ Роспотребнадзор. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. 2020. 32 с. [The Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection. The assessment of radiation risk of patients during X-ray examinations" Guidelines MR 2.6.1.0215-20. 2020. 32 p. (In Russ.)]

⁶ Роспотребнадзор. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. 2020. 32 с. [The Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection. The assessment of radiation risk of patients from X-ray examinations" Guidelines MR 2.6.1.0215-20. 2020. 32 p. (In Russ.)]

⁷ Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 16.02.2007 г. № 0100/1659-07- 26. [Filling of the Federal state statistical surveillance form No. 3- DOZ. Guidelines for ensuring radiation safety. Approved by the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection on February 16, 2007, No. 0100 / 1659-07-26. (In Russ.)]

⁸ Форма федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации» [Приказ Росстата: Об утверждении формы от 30.12.2020 № 863] [The Federal state statistical surveillance form N 30 "Information about the medical organization" (Order of the Federal State Statistics Service: On approval of the form dated December 30, 2020 No. 863) (In Russ.)]

оценить тренды развития лучевой диагностики (например, при пандемии COVID-19 [4]) и принять необходимые управленческие решения по оптимизации радиационной защиты.

Цель исследования – сравнительная оценка доступных официальных источников данных по дозам облучения пациентов, структуре и аппаратному парку лучевой диагностики в медицинских организациях города Москвы для оценки их применимости для оптимизации защиты пациентов при медицинском облучении.

Материалы и методы

Было проведено ретроспективное исследование по анализу структуры лучевой диагностики, аппаратного парка и коллективных доз населения города Москвы от медицинского облучения за период с 2017 по 2020 г. в медицинских организациях различных форм собственности. Источниками информации послужили агрегированные данные форм № 3-ДОЗ, РГП и форм № 30 за указанный период времени для г. Москвы и Российской Федерации. В исследовании также были использованы сведения из Единого радиологического информационного сервиса (далее ЕРИС) за 2020 г.

Анализ данных ЕРИС проводился с учетом следующих ограничений: а) система не имеет модуля анализа данных о лучевой нагрузке пациентов; б) в систему не попадают данные с неподключенного оборудования (на конец 2020 г. к системе не были подключены 8 цифровых рентгеновских аппаратов и 1 гамма-камера, а также 252 единиц аналогового оборудования и 196 аппаратов, не поддерживающих DICOM-файлы или находящихся на стадии списания); в) часть оборудования была подключена в течение отчетного периода, в связи с чем расчет количества исследований в стационарных медицинских организациях произведен на основании фактических значений, полученных за 4 квартал 2020 г. с использованием метода экстраполяции.

Выбор периода наблюдения связан с тем, что, начиная с 2016–2017 гг., впервые в РГП стали учитываться данные, представленные не только радиационными объектами, надзор за которыми осуществляет Роспотребнадзор, но и радиационными объектами, обслуживаемыми ФМБА России [5].

Были проанализированы заполненные формы № 3-ДОЗ медицинских организаций города Москвы: в 2017 г. – 1233 организаций, в 2018 г. – 1330, в 2019 г. – 1394 и в 2020 г. – 1453.

В качестве референтных значений и группы сравнения были взяты данные из радиационно-гигиенических паспортов Российской Федерации [7–12], а также информация из базы данных OECD⁹. Для выборочной проверки анализируемых данных использовалась база реестра

санитарно-эпидемиологических заключений о соответствии (несоответствии) видов деятельности (работ, услуг) требованиям государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов [6].

При проведении статистического анализа данных были использованы специализированные возможности программного продукта Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

1. Сравнение основных показателей, характеризующих состояние лучевой диагностики между Москвой и Российской Федерацией в целом

Результаты сравнения основных показателей, характеризующих состояние лучевой диагностики (количества медицинских организаций с ИИИ, количества ИИИ и персонала, числа выполненных исследований), представлены по данным радиационно-гигиенической паспортизации в таблице 1. Для анализа был выбран 2019 г. как последний год перед началом эпидемии COVID-19, позволяющий описать типичное состояние лучевой диагностики без влияния эпидемиологических факторов.

Как следует из данных, представленных в таблице 1, число организаций, эксплуатирующих медицинские источники ионизирующего излучения, и число ИИИ в экстенсивных показателях соответствуют показателям Российской Федерации. При этом численность персонала группы А (в том числе и медицинского персонала) в Москве 1,5 раза выше, чем в Российской Федерации. В соответствии с данными РГП процентный вклад рентгенорадиологических процедур, выполненных в Москве, в общее число процедур, выполненных в Российской Федерации, в зависимости от модальности составил от 8,5% до 35% со средним значением 13,4% и медианой 12%¹⁰. Вклад Москвы в число современных методов диагностики, выполненных в Российской Федерации, составляет 14% для КТ-исследований, 21% – для радионуклидных исследований и 35% – для интервенционных исследований. Достоверные различия в структуре коллективной дозы наблюдались только для рентгенографических исследований и радионуклидной диагностики.

Результаты исследования показывают, что динамика изменения основных показателей, характеризующих состояние лучевой диагностики (числа организаций, эксплуатирующих источники ионизирующего излучения, источников ионизирующего излучения, персонала, числа и коллективной дозы при проведении рентгенорадиологических исследований), для Москвы в общем соответствует аналогичным показателям для Российской Федерации. Таким образом, оценка текущего состояния лучевой диагностики в Москве с учетом указанных выше особенностей может быть экстраполирована на Российскую Федерацию.

⁹ Официальный сайт базы данных OECD. URL: <https://www.oecd.org/health/health-at-a-glance/> (Дата обращения: 24.05.2022) [Official website of the OECD database Available from: <https://www.oecd.org/health/health-at-a-glance/> (Accessed: 24.05.2022)]

¹⁰ Приказ Минздрава РФ № 240, Госатомнадзора РФ № 65, Госкомэкологии РФ № 289 от 21.06.1999 «Об утверждении типовых форм радиационно-гигиенических паспортов» [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation N 240, Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision of the Russian Federation N 65, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection N 289 dated 06/21/1999 «On approval of standard forms of radiation-hygienic passports» (In Russ.)]

Результаты сравнительного анализа показателей, характеризующих состояние лучевой диагностики в Москве и Российской Федерации в целом по данным радиационно-гигиенической паспортизации за 2019 г.

Results of a comparative analysis of indicators characterizing the state of X-ray diagnostics between Moscow and the Russian Federation according to the data from radiation-hygiene certification for 2019

Группа показателей [Indicator]	Показатель [Indicator]	Москва [Moscow]		Российская Федерация [Russian Federation]		Доля Москвы в показателе Российской Федерации, % [Share of Moscow in the Russian Federation]
		абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	
	Среднегодовая численность населения в 2019 г. [The average population in 2019]	12 646 679		146 764 655		8,6%
Организации, эксплуатирующие ИИИ [Organizations operating sources of ionizing exposure]	Медицинские организации, эксплуатирующие ИИИ [Medical organizations operating sources of ionizing exposure]	1 437	114	16 743	114	8,6%
	Организаций всего, эксплуатирующих ИИИ [Total number of organizations operating sources of ionizing exposure]	1 936	153	22 086	150	8,8%
	Процентный вклад медицинских организаций [Contribution of medical organizations, %]	74,2%		75,8%		–
Источники ионизирующего излучения (ИИИ) [Sources of ionizing exposure]	Медицинские ИИИ [Medical sources of ionizing exposure]	5 808	459	55 068	375	10,5%
	Всего ИИИ [Total number of sources of ionizing exposure]	15 310	1 211	161 658	1 101	9,5%
	Процентный вклад медицинских ИИИ [Contribution of medical sources of ionizing exposure]	37,9%		34,1%		–
Персонал, работающий с ИИИ [Staff working with sources of ionizing exposure]	Медицинский персонал группы А [Medical staff (group A)]	11 948	945	90 922	620	13,1%
	Персонал группы А всего [Total staff (group A)]	25 574	2 022	213 243	1 453	12,0%
	Процентный вклад медицинского персонала группы А [Contribution of medical staff (group A)]	46,7%		42,6%		–
	Медицинский персонал группы Б [Medical staff (group B)]	2 162	171	10 414	71	20,8%
	Персонал группы Б [Total staff (group B)]	3 635	287	82 464	562	4,4%
	Процентный вклад медицинского персонала группы Б [Contribution of medical staff (group B)]	59,5%		12,6%		–
	Медицинский персонал группы А+Б [Medical staff (group A+B)]	14 110	1 116	101 336	690	13,9%
	Персонал группы А+Б всего [Total staff (group A+B)]	29 209	2 310	295 707	2 015	9,9%
	Процентный вклад медицинского персонала всего [Contribution of medical staff (group A+B)]	48,3%		34,3%		–
Количество проведенных исследований [Number of examinations]	Флюорография [Fluorography]	7 484	592	88 005	600	8,5%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]	26,3%		29,5%		–

Группа показателей [Indicator]	Показатель [Indicator]	Москва [Moscow]		Российская Федерация [Russian Federation]		Доля Москвы в показателе Российской Федерации, % [Share of Moscow in the Russian Federation]
		абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	
Количество проведенных исследований [Number of examinations]	Рентгенография [Radiography]	17 832	1 410	191 793	1 307	9,3%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		62,7%		64,4%	–
	Рентгеноскопия [Fluoroscopy]	242	19	1 691	12	14,3%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		0,9%		0,6%	–
	Компьютерная томография [СТ]	1 911	151	13 479	92	14,2%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		6,7%		4,5%	–
	Радионуклидная диагностика [Radionuclide diagnostics]	122	10	587	4	20,8%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		0,4%		0,2%	–
	Прочие [Others]	872	69	2 481	17	35,1%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		3,1%		0,8%	–
	Всего [Total]	28 463	2 251	298 036	2 031	9,6%
	Процентный вклад в структуру лучевой диагностики [Contribution to the X-ray diagnostics structure]		100,0%		100,0%	–
	Флюорография [Fluorography]	339	27	5 547	38	6,1%
	Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]		2,9%		6,3%	–
	Коллективная доза от медицинского облучения, чел.Зв [Collective dose from medical exposure, man.Sv]	Рентгенография [Radiography]	1 162	92	16 863	115
Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]			9,8%		19,1%	–
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]		792	63	4 263	29	18,6%
Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]			6,7%		4,8%	–
Компьютерная томография [СТ]		7 426	587	49 409	337	15,0%
Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]			62,8%		56,1%	–
Радионуклидная диагностика [Radionuclide diagnostics]		985	78	3 154	21	31,2%
Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]			8,3%		3,6%	–
Прочие [Others]		1 113	88	8 890	61	12,5%
Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]			9,4%		10,1%	–

Группа показателей [Indicator]	Показатель [Indicator]	Москва [Moscow]		Российская Федерация [Russian Federation]		Доля Москвы в показателе Российской Федерации, % [Share of Moscow in the Russian Federation]
		абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	абсолютные значения [Absolute values]	в расчете на 1 млн жителей [per 1 million inhabitants]	
Коллективная доза от медицинского облучения, чел.Зв [Collective dose from medical exposure, man.Sv]	Всего [Total]	11 816	934	88 126	600	13,4%
	Процентный вклад в коллективную дозу [Contribution to the collective dose]	100,0%		100,0%		–

2. Анализ полноты и достоверности данных

2.1. Оценка количества медицинских организаций

В соответствии с приказом Росстата¹¹ данные о дозах облучения пациентов по форме № 3-ДОЗ обязаны подавать все медицинские организации, в которых проводятся диагностические процедуры с ИИИ. Помимо этого, организации всех форм собственности обязаны предоставлять сведения о состоянии радиационной безопасности в рамках РГП, проводимой органами Роспотребнадзора¹². В качестве рабочей гипотезы было предположено, что данные указанных отчетных форм должны соответствовать друг другу, однако фактические значения по количеству организаций имели рас-

хождения в диапазоне 3–11% в зависимости от года наблюдения со средним отклонением 7,5% (см. табл. 1). Вероятно, выявленные отличия связаны с тем, что ведомственные и ряд частных медицинских организаций не подавали сведения по форме № 3-ДОЗ за отдельные отчетные периоды. По результатам анализа реестра выданных санитарно-эпидемиологических заключений количество подобных организаций не превышает 5%, что не вносит существенных отклонений в анализируемые данные, в связи с чем в рамках нашего исследования указанная погрешность не учитывалась.

Сравнение количества медицинских организаций между различными ведомственными отчетными формами представлено в таблице 2.

Количество организаций, представленных в различных отчетных формах за период 2017–2020 г.

Таблица 2

Number of organizations presented in different statistical forms in 2017–2020]

[Table 2

Год [Year]	Форма № 3-ДОЗ [N 3-DOZ form]	РГП [Radiation-hygienic passport]			Форма № 30 [Form N 30]		ЕРИС [Unified Radiological Information Service]
	МО** [MO]	МО [MO]	Всего [Total]	ДЗМ* [MHD]	Фед. МО [Federal MO]	Всего [Total]	ДЗМ [MHD]
2017	1233	1391	1814	247	41	288	–
2018	1330	1450	1926	242	44	286	–
2019	1394	1437	1936	241	44	285	–
2020	1453	1492	2060	238	42	280	158

* – учреждения, подведомственные Департаменту здравоохранения г. Москвы [Organizations subordinated to the Department of Health of Moscow]

** МО – медицинские организации [Medical organizations]

¹¹ Приказ Росстата от 16.11.2013 № 411 «Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием территорий, профессиональными заболеваниями (отравлениями), дозами облучения» [Rosstat Order N 411 dated November 16, 2013 "On approval of statistical tools for the organization by the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection for federal statistical monitoring of the sanitary condition of territories, occupational diseases (poisoning), radiation doses" (In Russ.)]

¹² Постановление Правительства РФ от 28.01.1997 г. № 93 (ред. от 10.07.2014) «О Порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий» [Decree of the Government of the Russian Federation of January 28, 1997 N 93 (amended on July 10, 2014) «On the Procedure for the Development of Radiation-Hygienic Passports of Organizations and Territories» (In Russ.)]

Данные, указанные в форме № 30, не в полной мере отражают организации, эксплуатирующие ИИИ, так как указанная отчетная форма подается медицинскими организациями государственной и муниципальной систем здравоохранения, находящимися в ведении Министерства здравоохранения, часть из которых не имеет ИИИ¹³. Так, из 280 организаций, подававших отчетную форму в 2020 г., радиационные источники имеются в 252 (90%) организациях, из которых 212 (76%) относятся к ДЗМ. Отдельно стоит отметить, что форма № 30 содержит не более 17% от общего количества медицинских организаций, работающих с ИИИ (табл. 3). Однако следует учесть, что реальный вклад организаций, включенных в форму № 30, в формировании коллективной дозы должен быть существенно выше, что связано с большим количеством оборудования и проводимых исследований в данных организациях.

Сравнение числа организаций, включенных в различные формы статистической отчетности, за период 2017–2020 гг. представлено в таблице 3.

Из данных, представленных в таблицах 2 и 3, следует, что число медицинских организаций, представляющих форму № 3-ДОЗ в период 2017–2020 гг., увеличивалось в среднем на 5% в год; заполняющих радиационно-гигиенические паспорта и форму № 30 – значимо не менялось. Медицинские организации, заполняющие форму № 30, составляют около 17% от всего числа организаций с медицинскими ИИИ, представленных в РГП; и всего 19% от организаций, представленных в форме № 3-ДОЗ. Это указывает на необходимость дополнительного обоснования репрезентативности данных из формы № 30 по оборудованию для лучевой и радионуклидной диагностики и числу выполненных РРИ. Медицинские организации, включенные в ЕРИС, составляют всего 11% от числа организаций с медицинскими ИИИ в РГП и 12% от общего числа организаций в форме № 3-ДОЗ, но более половины от организаций, заполняющих форму № 30.

2.2. Оценка количества оборудования

Существенным недостатком формы № 3-ДОЗ является отсутствие информации об используемом оборудова-

Таблица 3

Сравнение числа организаций, эксплуатирующих медицинские источники ионизирующего излучения, между различными формами государственной статистической отчетности

[Table 3

Comparison of the number of organizations operating medical sources of ionizing exposure between different state statistical reporting forms]

Показатель [Indicator]	Среднее число за период 2017–2020 гг. [Average number in 2017-2020]	% вклад в число организаций с медицинскими ИИИ из РГП [Contribution to the number of organizations with medical IRS from RHP]	% вклад в форму № 3-ДОЗ [Contribution to the 3-DOZ form]	% вклад в форму № 30 [Contribution to the form N30]
Организации, эксплуатирующие ИИИ [Organizations operating SIE]	1934	134%*	–	–
Из них эксплуатирующих медицинские ИИИ [Among them organizations operating medical SIE]	1443	100%	–	–
Организации с медицинскими ИИИ, включенные в 3-ДОЗ [Organizations with medical SIE included in the 3-DOZ form]	1353	94%	100%	–
Организации с медицинскими ИИИ, включенные в форму 30 [Organizations with medical SIE included in the form No. 30]	252	17%	19%	100%
Подведомственные ДЗМ организации с медицинскими ИИИ, включенные в форму 30** [Organizations subordinated to the MHD with medical SIE included in the form No. 30*]	212	15%	16%	84%
Из них включены в данные ЕРИС* [Among them included in URIS*]	158	11%	12%	63%

* За 100% принято число организаций, эксплуатирующих медицинские ИИИ [100% corresponds to number of facilities with medical sources of ionizing exposure].

** Значения на 2020 г. [values in 2020].

¹³ Приказ Федеральной службы государственной статистики от 30 декабря 2020 г. № 863 «Об утверждении форм федерального статистического наблюдения с указаниями по их заполнению для организации Министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере охраны здоровья» [Order of the Federal State Statistics Service of December 30, 2020 N 863 «On approval of the forms of federal statistical observation with instructions for their conclusion for the organization of the Ministry of Health of the Russian Federation of Federal statistical observation in the field of health care» (In Russ.)]

нии, что сокращает возможности для интерпретации данных о структуре лучевой диагностики и уровнях облучения населения.

В РГП указано только общее количество рентгеновских аппаратов и других ИИИ, используемых в медицинских организациях, при этом не выделяются отдельные типы оборудования. Среднее значение числа рентгеновских аппаратов за период 2017–2020 гг. составило 5844 шт. со стандартным отклонением 451. Максимальное значение составило 6168 аппаратов в 2020 г.

Основными источниками сведений о количестве и типах оборудования является форма № 30 и данные о коли-

честве оборудования, подключенного к ЕРИС. При этом следует оговориться, что в форме № 30 не учитывается возможная неоднородность учета, связанная со списанием или закупкой оборудования в течение отчетного периода. Сводные данные об оборудовании для лучевой и радионуклидной диагностики из различных отчетных форм за период 2017–2020 гг. представлены в таблице 4.

Более детальный анализ данных по аппаратному парку из формы № 30 представлен в таблице 5. С целью оценки возможности использования данных ЕРИС информация по организациям ДЗМ и по всем организациям, предоставляющим форму № 30, была рассмотрена отдельно.

Таблица 4

Сравнение числа аппаратов для лучевой и радионуклидной диагностики между различными формами государственной статистической отчетности за период 2017–2020 гг.

[Table 4

Comparison of the number of equipment for X-ray and radionuclide diagnostics between different state statistical reporting forms in 2017–2020]

Год [Year]	Форма № 3-ДОЗ [3-DOZ form]	РГП [RHP]	Форма № 30 [Form N30]	ЕРИС [URIS]	
	Число аппаратов [Number of units]	Число аппаратов [Number of units]	Число аппаратов [Number of units]	Вклад в общее число аппаратов из РГП, % [Contribution to the total number of units from RHP,%]	Число аппаратов [Number of units]
2017		5487	3343	61%	–
2018	Данные не представлены [Data not provided]	5934	3297	56%	–
2019		5786	3199	55%	–
2020		6168	3233	52%	1203
Среднее [Average]	–	5844	3268	56%	1203

Таблица 5

Процентный вклад оборудования для лучевой диагностики, находящегося в организациях, подведомственных ДЗМ, по сравнению со всей Москвой за период 2017–2020 гг.

[Table 5

The percentage contribution of equipment for X-ray diagnostics, located in organizations subordinate to the Moscow Health Department, compared with the Moscow in 2017–2020]

Показатель [Indicator]	2017	2018	2019	2020
Количество КТ (Москва) [Number of CT units (Moscow)]	271	282	279	305
Количество КТ (ДЗМ) [Number of CT units (MHD)]	170	176	176	197
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	63%	62%	63%	65%
Из них свыше 64 срезов (Москва) [Among them > 64 slices (Moscow)]	112	157	179	204
Из них свыше 64 срезов (ДЗМ) [Among them > 64 slices (MHD)]	75	107	120	142
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	67%	68%	67%	70%
Рентгеновские аппараты (Москва) [Radiography units (Moscow)]	881	861	839	799
Рентгеновские аппараты (ДЗМ) [Radiography units (MHD)]	745	724	711	672
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	85%	84%	85%	84%

Показатель [Indicator]	2017	2018	2019	2020
Флюорографы (Москва) [Fluorography units (Moscow)]	319	310	305	294
Флюорографы (ДЗМ) [Fluorography units (MHD)]	305	297	294	285
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	96%	96%	96%	97%
Маммографы (Москва) [Mammography units (Moscow)]	231	227	217	206
Маммографы (ДЗМ) [Mammography units (MHD)]	198	191	183	173
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	86%	84%	84%	84%
Ангиографы (Москва) [Angiography units (Moscow)]	110	115	115	125
Ангиографы (ДЗМ) [Angiography equipment (MHD)]	46	50	50	57
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	42%	43%	43%	46%
Рентгеновские аппараты всего (Москва) [Total number of X-Ray units (Moscow)]	3343	3297	3199	3233
Рентгеновские аппараты всего (ДЗМ) [Total number of X-Ray units (MHD)]	2630	2559	2487	2501
Вклад оборудования ДЗМ, % [Contribution of units of MHD, %]	79%	78%	78%	77%

Из результатов анализа следует, что парк оборудования, включенный в форму № 30, составляет более 50% от указанного в РГП (см. табл. 4), из которого к ДЗМ относится более 40% (см. табл. 5). 75% рентгеновских аппаратов, указанных в форме № 30, относятся к ДЗМ; доля флюорографов составляет до 97%. С другой стороны, это означает, что медицинские организации, не включенные в форму № 30, в основном, используют другие типы рентгенологического оборудования, такие как дентальные аппараты.

Неоспоримым преимуществом формы № 30 является наличие информации о количестве оборудования старше 10 лет. Так, в 2020 г. доля нового оборудования составила 70%, а среди КТ – 83% по Москве и 90,4% по организациям ДЗМ. Это свидетельствует о том, что парк рентгенодиагностического оборудования, эксплуатируемого в Москве, является достаточно современным.

Отдельно следует рассмотреть количество аппаратов для радионуклидной диагностики и ПЭТ/КТ-аппаратов в частности (табл. 6). Согласно форме № 30, в федеральных медицинских организациях, расположенных на территории г. Москвы, размещено 7 ПЭТ/КТ, при этом, по данным ЕРИС, всего насчитывается 17 аппаратов, осуществляющих диагностику в рамках программы ОМС. Таким образом, по оборудованию для радионуклидной диагностики форма № 30 не учитывает реальное количество оборудования, что, в первую очередь, связано с развитием ядерной медицины в частных медицинских организациях.

К сожалению, ни в одной форме, за исключением сведений из ЕРИС, не содержится информация о времени простоя оборудования, которое могло бы с большей степенью достоверности свидетельствовать о состоянии парка оборудования и его работоспособности.

2.3. Оценка количества рентгенорадиологических процедур и коллективной дозы от медицинского облучения

Количество проведенных процедур учитывается во всех рассмотренных отчетных формах. Следует отметить, что в ряде отчетных форм, например, форме № 3-ДОЗ разделяют количество процедур и исследований. В соответствии с методическими рекомендациями по заполнению формы № 3-ДОЗ под рентгенорадиологической процедурой подразумевается разовое однократное облучение пациента (один рентгеновский снимок); под РПИ – полный цикл исследования определенной анатомической области пациента, который может включать несколько процедур (снимков) в различных проекциях. По данным за 2020 г., в среднем на одно исследование приходилось 1,4 процедуры, что обусловлено соотношением числа рентгеновских снимков, выполненных в прямой и боковой проекциях (в среднем одно рентгенографическое исследование состоит из одного снимка (процедуры) в прямой проекции и 0,4 снимков (процедур) в боковой проекции), что связано с особенностями методики учета и заполнения отчетных форм. Также следует отметить, что в форме № 30 используется термин «Исследования», а в РГП – «Процедуры». Дополнительных разъяснений по применению данных терминов в руководствах по заполнению данных форм не представлено. Данное обстоятельство вносит дополнительные сложности и разночтения в оценку результатов сравнения и в оценку лучевой нагрузки. Это означает, что для корректного использования данных требуется унификация используемых терминов и подходов к заполнению отчетных форм.

Существенным недостатком формы № 3-ДОЗ является слишком большая группировка данных, которая существенно ограничивает возможности интерпретации

Таблица 6

Динамика изменения числа оборудования для ядерной медицины за период 2017–2020 гг.

[Table 6]

The dynamics of changes in the number of equipment for nuclear medicine in 2017–2020]

Тип оборудования [Type of equipment]	2017	2018	2019	2020
ПЭТ-/КТ-аппараты [PET/CT units]	7	8	8	7
Циклотроны [Cyclotrons]	3	3	2	2
Прочие (ОФЭКТ*, гамма-камеры, ренографы) [Others (SPECT, gamma cameras, renographs)]	76	76	65	64
Аппараты для радионуклидной диагностики, всего [Total number of units for radionuclide diagnostics]	86	87	75	73

*ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография [Single-photon emission computed tomography]

и прогноза структуры лучевой нагрузки. Например, при описании радионуклидных исследований не выделены ПЭТ-исследования, также не выделены отдельно ангиографические исследования, дентальные КТ и некоторые другие виды исследований.

Сравнительная оценка количества рентгенорадиологических процедур в общем и КТ в частности за период 2017–2020 гг. между различными формами государственной статистической отчетности представлена в таблице 7.

Следует отметить, что в форме № 30 содержатся данные по 80% КТ исследований и 60% всех РПИ, выполненных в г. Москве за рассмотренный период. В крайне незна-

чительном количестве медицинских организаций в ЕРИС (11% в соответствии с таблицей 3) было выполнено 62% КТ.

Сравнение коллективных доз от медицинского облучения, в том числе и от КТ, из различных форм государственной статистической отчетности за период 2017–2020 гг. представлено в таблице 8.

Следует отметить, что коллективные дозы из формы № 3-ДОЗ в 2018 и 2019 гг. и число исследований из формы № 3-ДОЗ в 2019 г. несколько выше по сравнению с РГП за аналогичный период. Данные различия, скорее всего, связаны с процедурными ошибками при заполнении данных статистических форм. Изменения в структуре

Таблица 7

Сравнение числа рентгенорадиологических процедур и компьютерных томографий за период 2017–2020 гг. между различными источниками данных

[Table 7]

Comparison of the number of radiography procedures and computed tomography in 2017–2020 between different data sources]

Форма [Form]	Исследования [Examinations]	2017	2018	2019	2020	Среднее [Average]
РГП [RHP]	КТ [CT]	1 526 297	1 921 596	1 910 509	3 137 522	2 123 981
	Всего [Total]	27 507 783	29 722 242	28 462 582	24 625 305	27 579 478
	КТ [CT]	1 496 900	1 843 500	2 035 000	3 113 932	2 122 333
3-ДОЗ [3-DOZ]	% от РГП [% from RHP]	98%	96%	107%	99%	100%
	Всего [Total]	27 128 300	28 882 700	29 705 900	23 626 480	27 335 845
	% от РГП [% from RHP]	99%	97%	104%	96%	99%
Форма № 30 (Москва) [Form N30 (Moscow)]	КТ [CT]	1 220 368	1 459 335	1 562 110	2 360 715	1 650 632
	% от РГП [% from RHP]	80%	76%	82%	75%	78%
	Всего [Total]	15 630 759	16 420 962	16 354 500	13 409 968	15 454 047
Форма № 30 (ДЗМ) [Form N30 (MHD)]	% от РГП [% from RHP]	57%	55%	57%	54%	56%
	КТ [CT]	942 344	1 168 463	1 249 964	2 012 409	1 343 295
	% от РГП [% from RHP]	62%	61%	65%	64%	63%
ЕРИС [URIS]	Всего [Total]	14 414 171	15 180 080	15 089 341	12 375 965	14 264 889
	% от РГП [% from RHP]	52%	51%	53%	50%	52%
	КТ [CT]	–	–	–	1 931 908	1 931 908
ЕРИС [URIS]	% от РГП [% from RHP]	–	–	–	62%	62%
	Всего [Total]	–	–	–	6 485 004	6 485 004
	% от РГП [% from RHP]	–	–	–	26%	26%

Таблица 8

Сравнение коллективных доз от медицинского облучения из различных форм государственной статистической отчетности за период 2017–2020 гг.

[Table 8

Comparison of collective doses from medical exposure from different state statistical reporting forms in 2017–2020]

Год [Year]	РГП (медицина) [RHP (medicine)]	3-ДОЗ [3-DOZ]		КТ 3-ДОЗ [CT 3-DOZ]	
	Коллективная доза, чел.-Зв [Collective dose, person-Sv]	Коллективная доза, чел.-Зв [Collective dose, person-Sv]	% вклад в РГП [Contribution to RHP]	Коллективная доза, чел.-Зв [Collective dose, person-Sv]	% вклад в РГП [Contribution to RHP]
2017	11 097,17	10 946	99%	6 649,28	60%
2018	11 497,60	11 593	101%	7 447,21	65%
2019	11 816,20	12 582	106%	8 179,05	69%
2020	17062,28	16 662	98%	12 644,68	74%

коллективной дозы в данном исследовании не рассматривались; они будут изучены в следующих работах.

Заключение

Представленный в статье анализ трендов развития лучевой диагностики показывает рост всех выбранных показателей в период 2017–2020 гг. в Москве. С каждым годом увеличивается число организаций, использующих источники ионизирующего излучения в медицине (в среднем на 5% в год). К сожалению, выделить из общей выборки московских медицинских организаций небольшие частные клиники, в частности, стоматологические, которые не оказывают значимого влияния на коллективную дозу облучения населения Москвы, в рамках анализа форм статистической отчетности не представляется возможным. При этом число единиц оборудования для лучевой диагностики значимо не изменяется, за исключением КТ. Число рентгенорадиологических исследований за рассмотренный период также значимо не меняется, за исключением КТ: в 2017–2019 гг. рост составил 13% в год; в период 2019–2020 гг. – на 51%, что связано с эпидемией новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Результаты исследования динамики изменения числа РРИ и коллективной дозы за счет проведения РРИ подтверждают, что коллективная доза при медицинском облучении в Москве формируется, главным образом, за счет КТ-исследований. К сожалению, в связи с особенностями заполнения формы № 3-ДОЗ¹⁴ и радиационно-гигиенических паспортов в данный вид исследований попадают также стоматологические исследования: ортопантограммы и стоматологические КТ. Вычленение их из общего массива данных невозможно.

Сравнение рассмотренных 3 ведомственных форм статистической отчетности (формы № 3-ДОЗ, радиационно-гигиенических паспортов, формы № 30) и данных из ЕРИС показывает, что все формы обладают своими достоинствами и недостатками. Так, радиационно-гигиенические паспорта обладают максимальным охватом орга-

низаций по сравнению с прочими формами; но при этом содержат наиболее ограниченный объем информации, как по видам оборудования для лучевой диагностики, так и по числу и коллективным дозам при проведении рентгенорадиологических исследований. Форма № 3-ДОЗ содержит дифференцированную информацию по структуре лучевой диагностики с выделением отдельных анатомических областей, но охватывает меньший процент медицинских организаций. Форма № 30 содержит детальную информацию по парку оборудования, но при этом затрагивает всего около 15% от числа всех медицинских организаций.

Следует отметить, что в существующей системе государственной статистической отчетности получить сведения об индивидуальных дозах облучения пациентов или стандартных (типичных) дозах для отдельных рентгеновских аппаратов или КТ невозможно. Форма № 3-ДОЗ содержит сведения, усредненные на уровне медицинской организации; радиационно-гигиенические паспорта – агрегированные данные с еще более низкой детализацией; другие источники данных по дозам облучения не содержат в принципе. Таким образом, реализовать на практике основной принцип радиационной защиты в медицине – принцип оптимизации – не представляется возможным. Данный факт требует совершенствования текущих форм сбора данных и/или разработки новых инструментов мониторинга доз облучения пациентов, выявления объектов/аппаратов с аномально высокими или низкими дозами облучения пациентов, и обоснования принятия управленческих решений. Внедрение подобных систем сбора и анализа данных является наиболее рациональным способом повышения информационной прозрачности данных о дозах населения за счет медицинского облучения, что подтверждается большим количеством международных документов и научных публикаций [3].

Итоговое сравнение различных источников данных по структуре лучевой диагностики и коллективным дозам от медицинского облучения представлено в таблице 9.

¹⁴ Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 16.02.2007 г. № 0100/1659-07-26. [Filling of the Federal state statistical surveillance form No. 3- DOZ. Methodical recommendations the provision of the radiation safety. Approved by the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection on February 16, 2007, No. 0100 / 1659-07-26. (In Russ.)]

Сравнение полноты различных форм государственной статистической отчетности по показателям

[Table 9]

Comparison of the completeness of different state statistical reporting forms by indicators]

Показатель [Indicator]	% охвата в среднем период 2017–2020 гг. [Percentage of coverage on average in 2017–2020]			
	РГП (медицинские организации) [RHP (medical organizations)]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Форма № 30 (ДЗМ) [Form N30 (MHD)]	ЕРИС [URIS]
Количественные показатели [Quantitative indicators]				
Медицинские организации [Medical organizations]	100%	94%	20%	11%
Общее число аппаратов для рентгеновской и радионуклидной диагностики [The total number of equipment for x-ray and radionuclide diagnostics]	100%	–	57%	23%
Персонал [Staff]	100%	–	39%	–
Число РПИ [Number of X-ray examinations]	100%	102%	58%	24%
Число КТ-исследований [Number of CT examinations]	100%	97%	75%	88%
Коллективная доза за счет РПИ [Collective dose from X-ray examinations]	100%	100%	–	–
Средняя эффективная доза за вид РПИ [Average effective dose per X-ray examination type]	100%	100%	–	–
Качественные показатели [Qualitative indicators]				
Число аппаратов по типам [Number of units by type]	–	–	+	+
Средняя эффективная доза за РПИ для конкретного аппарата [Average effective dose per X-ray examination for a specific unit]	–	–	–	+
Индивидуальная доза пациента [Individual patient dose]	–	–	–	+

Притом, что в форму № 30 включено всего 15% от всех организаций, эксплуатирующих ИИИ, в них выполняется 58% всех РПИ и 75% всех КТ-исследований. При крайне незначительном охвате медицинских организаций ЕРИС (11%) из данной системы возможно получить информацию о 88% всех КТ-исследований.

Таким образом, для комплексной оценки состояния лучевой диагностики необходима компиляция данных из различных форм статистической отчетности, что, безусловно, негативным образом влияет на достоверность и репрезентативность полученных данных. Особо следует отметить различия в номенклатуре для всех рентгенорадиологических исследований между формами отчетности Минздрава и Роспотребнадзора при отсутствии единых требований для отнесения исследований к различным категориям. Так, используемый в форме № 3-ДОЗ подход с делением РПИ по анатомическим областям оправдан

с точки зрения оценки эффективных доз пациентов для рентгенографических и флюорографических исследований (т.е. для исследований с фиксированными и более-менее стандартизованными полями облучения), но приводит к существенным затруднениям и процедурным ошибкам при заполнении формы для исследований с динамической геометрией облучения (рентгеноскопии, интервенционные исследования) или для исследований, затрагивающих несколько анатомических областей (компьютерная томография, рентгеноскопии, интервенционные исследования). Как форма № 30, так и форма № 3-ДОЗ не учитывают номенклатуру из Федерального справочника инструментальных диагностических исследований¹⁵.

Наиболее важные показатели, с точки зрения оптимизации радиационной защиты пациентов (стандартные дозы; средние/медианные дозы для выбранного протокола для выбранного вида рентгенорадиологического

¹⁵ Министерство здравоохранения Российской Федерации. Федеральный справочник инструментальных диагностических исследований. URL: <https://nsi.rosminzdrav.ru/#!/refbook/1.2.643.5.1.13.13.11.1471> (Дата обращения: 25.05.2022) [Ministry of Health of the Russian Federation. Federal manual of instrumental diagnostic examinations [On-line resource] Available from: <https://nsi.rosminzdrav.ru/#!/refbook/1.2.643.5.1.13.13.11.1471> (Accessed: 05.25.2022) (In Russ.)]

исследования), во всех рассмотренных формах отсутствуют. Как в радиационно-гигиенических паспортах, так и в форме № 3-ДОЗ представлены коллективные дозы для различных методов лучевой диагностики. При этом только в форме № 3-ДОЗ коллективные дозы детализированы по анатомическим областям исследований. Представленный в данной форме массив данных позволяет получить средние эффективные дозы для выбранного метода лучевой диагностики для выбранной анатомической области, однако эти данные непригодны для оптимизации радиационной защиты пациентов. Существующий формат ЕРИС не позволяет получать данные по дозам облучения пациентов, однако это возможно после внесения изменений в систему сбора данных и расширения набора собираемых показателей.

Вполне вероятно, что дальнейшее внедрение электронных систем мониторинга и отчетности следующего поколения, а также систем межведомственного взаимодействия и создание электронного кабинета организаций позволят снизить вероятность непредставления отчетной документации и сделать ее более объективной. При этом наиболее эффективной является модель, при которой сведения о проведенных исследованиях и дозах, полученных конкретными пациентами, в автоматическом режиме поступают в систему непосредственно с оборудования, сразу после проведения исследования, однако внедрение подобной системы имеет свои экономические и технические ограничения, которые не позволяют в ближайшем будущем отказаться от используемых отчетных форм.

Таким образом, среди существующих отчетных форм нет полностью отвечающей задачам текущей оценки ситуации и оперативного управления. Часть данных РГП и 3-ДОЗ фактически дублируют друг друга, а имеющиеся расхождения скорее свидетельствуют о сложностях при сборе и обобщении информации, чем об отличиях в отчетных формах. Таким образом, действующие формы требуют пересмотра, объединения, уточнения и автоматизации процессов сбора данных. Разработке и научному обоснованию предложений по совершенствованию систем сбора данных о структуре лучевой диагностики и дозах облучению пациентов будут посвящены следующие работы авторов.

Личный вклад авторов

С.А. Рыжов – научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка полученных результатов, написание текста, обработка полученных результатов, написание окончательного текста.

А.В. Водоватов – разработка дизайна исследования, обработка полученных результатов, проанализировал данные и отредактировал промежуточный вариант статьи, представил окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

И.В. Солдатов – систематизация и финальное редактирование статьи, отредактировал промежуточный вариант статьи.

З.А. Лантух – экспертная оценка списка литературы, систематизация и финальное редактирование статьи, проанализировала данные и отредактировала промежуточный вариант статьи.

А.Н. Мухортова – определение материалов и методов исследования.

Ю.В. Дружинина – подготовка черновика рукописи, поиск публикаций по теме, анализ литературы.

П.С. Дружинина – поиск публикаций по теме и анализ литературы, определение материалов исследования, обработка полученных результатов, редактирование статьи.

Благодарность

Авторы благодарны И.Е. Тюрину за помощь в поиске источников информации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Публикация не имела финансовой поддержки.

Литература

1. Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation The UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I to the General Assembly (A/76/46). Официальный сайт НКДАР ООН. URL: https://css.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_2020_21_Annex-A.pdf (Дата обращения: 16.05.2022)
2. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики и дозы медицинского облучения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 6-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>,
3. European Directive on Medical Exposures 97/43/Euratom и ICRP, 2020. Proceedings of the Fifth International Symposium on the System of Radiological Protection. Ann. ICRP. 2020. 49(S1).
4. Vodovatov A.V., Romanovich I.K., Istorik O.A., et al. PREPRINT – Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in March-June 2020. URL: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.08.25.20181396v1> (Дата обращения: 29.03.2022) <https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>
5. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р., и др. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г. // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 4. С. 98-128. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-98-128
6. Реестры Роспотребнадзора. Сервер поиска по реестрам Роспотребнадзора. URL: <http://fp.crc.ru/> (Дата обращения: 29.03.2022)
7. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2015 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 63 с.
8. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2016 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. 64 с.
9. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2017 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2018. 67 с.
10. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 год

- (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2019. 69 с.
11. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2020. 63 с.
 12. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2020 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 66 с.
 13. Федеральная Служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (Дата обращения: 29.03.2022)
 14. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Том 1. Лучевая диагностика. Под ред. профессора М.И. Балонина. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. Т. 1. 320 с.
 15. Sören Mattsson. Need for individual cancer risk estimates in X-ray and nuclear medicine imaging // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 169, Issue 1-4. P. 11–16. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw034>
 16. Madan M. Rehani. Patient radiation exposure and dose tracking: a perspective // Journal of Medical Imaging. 2017. Vol. 4, No 3. P. 031206. Doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031206
 17. Martin C.J., Harrison J.D., Rehani M.M. Effective dose from radiation exposure in medicine: past, present, and future // Physica Medica. 2020. No 79. P. 87–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.020>

Поступила: 05.05.2022 г.

Рыжов Сергей Анатольевич – вице-президент Ассоциации медицинских физиков России; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; научный сотрудник Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия. **Адрес для переписки:** 117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Саморы Машела, д. 1; E-mail: mosrg@mail.ru

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Дружинина Юлия Владимировна – эксперт отдела клинической дозиметрии и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; преподаватель кафедры радиационной гигиены имени академика Ф.Г. Кроткова, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия

Солдатов Илья Владимирович – начальник лаборатории, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Лантух Зоя Александровна – начальник отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Мухортова Анна Николаевна – начальник информационно-аналитического отдела, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Рыжов С.А., Водоватов А.В., Солдатов И.В., Лантух З.А., Мухортова А.Н., Дружинина Ю.В., Дружинина П.С. 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

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

Sergey A. Ryzhov^{1,2}, Alexander V. Vodovатов³, Ilya V. Soldatov¹, Zoya A. Lantukh¹, Anna N. Mukhortova¹,
Yulia V. Druzhinina^{1,4}, Polina S. Druzhinina³

¹ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

² National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology after Dmitry Rogachev of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

³ 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

⁴ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

The aim of the search was to compare the sources of information and evaluate dynamics of changes of the patients doses during x-ray and radionuclide examinations in medical organizations in Moscow from 2017 to 2020. Material and methods: Reporting forms № 3-DOZ, № 30 and Radiation-Hygienic Passport for 2017–2020 from Moscow organizations of different forms of ownership were collected and analyzed. The analysis was performed of the main indicators that determine the radiation safety in medical exposure: the number of medical organizations operating sources of ionizing radiation, the equipment of radiation diagnostics, the structure of radiation diagnostics and collective doses from medical exposure. Results: The analysis of trends of the development of radiation diagnostics in Moscow presented in the paper shows that the number of organizations operating ionizing radiation sources is increasing every year; the number of computed tomography scanners is growing by an average of 10% per year, and there is approximately the same increase in the number of computed tomography examinations. Therefore, in 2017-2019 the annual increase in the number of examinations was 10%; it was 30% in 2019–2020, which is associated with the epidemic of the new coronavirus infection COVID-19. The increase in the collective dose from medical exposure corresponds to the increase in the number of X-ray examinations. Comparison of the considered reporting forms and data from the unified X-ray information system shows that all reporting forms have their advantages and disadvantages, which are discussed in detail in the paper. For a comprehensive assessment of the condition of radiation diagnostics, it is necessary to compile data from different statistical reporting forms, which negatively affects the reliability and representativeness of the data. It should be noted that all the considered statistical reporting forms provide no data on individual and accumulated patients doses, as well as standard (typical) doses for the equipment of X-ray and radionuclide diagnostics. The existing procedure of data collection does not allow to receive and analyze the data online. Conclusion: Among the analyzed statistical reporting forms, there is no one that fully provides the tasks of the current assessment of the situation and operational management of public radiation doses. Some of the data in fact duplicate each other, and the existing discrepancies are more likely express difficulties in collecting and summarizing information than differences in reporting forms. Current statistical reporting forms require revision, consolidation, clarification and automation of data collection processes. Further implementation of electronic systems for recording and controlling patients doses, and generation monitoring and reporting systems, as well as interdepartmental interaction systems and the creation of an electronic office of organizations will reduce the rate of non-submission of reporting documentation. That makes it more objective and provides all the data necessary to optimize radiation protection of patients.

Key words: radiation safety, patient doses, patient, radiology, computed tomography, fluorography, radiation diagnostics, reporting form, analytics.

Personal participation of authors

S.A. Ryzhov – scientific management of the study, development of the design of the study, formulation of scientific hypotheses, processing of the results, writing the text, writing the final text.

A.V. Vodovатов – developed the design of the study, processed the results, analyzed the data and edited the intermediate version of the article, submitted the final version of the article to the editors of the journal.

I.V. Soldatov – systematization and final editing of the article and edited the intermediate version of the article.

Z.A. Lantukh – expert evaluation of references, systematization and final editing of the article, analyzed the data and edited the intermediate version of the article;

A.N. Mukhortova – definition of materials and research methods.

Yu.V. Druzhinina – preparation of the manuscript draft, search publications on the topic, analysis of the literature.

Sergey A. Ryzhov

Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies

Address for correspondence: 117997, Moscow, GSP-7, st. Samora Mashela 1, Russia; E-mail: mosrg@mail.ru

P.S. Druzhinina – search publications on the topic and analysis of the literature, identification of research materials, processing of the results, editing the article.

Acknowledgement

The authors are grateful to I.E. Tyurin for help in finding sources of information.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Sources of financing

The publication was not supported financially.

References

1. Scientific annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation The UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I to the General Assembly (A/76/46). [Online resource]: UNSCEAR official website. Available from: https://css.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_2020_21_Annex-A.pdf (Accessed: 16.05.2022)
2. Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 1: Trends, structure of x-ray diagnostics and doses from medical exposure. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 6-24. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>
3. European Directive on Medical Exposures 97/43/Euratom ICRP, 2020. Proceedings of the Fifth International Symposium on the System of Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2020; 49(S1).
4. Vodovatov AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA, et al. PREPRINT – Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in March-June 2020. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.08.25.20181396v1> (Accessed: 29.03.2022) <https://doi.org/10.1101/2020.08.25.20181396>
5. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2018. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(4): 98-128. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-98-128
6. Registers of the Federal Service for Surveillance on Human Wellbeing and Consumer Rights Protection. [On-line resource]: search server for registers of the Federal Service for Surveillance on Human Wellbeing and Consumer Rights Protection. Available from: <http://fp.crc.ru/> (Accessed: 29.03.2022). (In Russian).
7. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2015 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2016. 63 p. (In Russian).
8. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2016 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2017. 64 p. (In Russian).
9. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2017 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2018. 67 p. (In Russian).
10. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2018 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2019. 69 p. (In Russian).
11. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2019 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2020. 63 p. (In Russian).
12. Results of radiation-hygienic certification in the regions of the Russian Federation in 2020 (radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of the Federal Service for Surveillance on Human Well-being and Consumer Rights Protection; 2021. 66 p. (In Russian).
13. Federal State Statistics Service. [Online resource]: Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (Accessed: 29.03.2022). (In Russian).
14. Balonov MI, Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, et al. Scientific foundations of radiation protection in medicine. Volume 1. Radiation diagnostics. Ed. professor M.I. Balonov. Saint-Petersburg: NIIRG after prof. P.V. Ramzaev; 2019. Vol. 1. 320 p. (In Russian).
15. Sören Mattsson. 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/rdp/ncw034>
16. Madan M Rehani. Patient radiation exposure and dose tracking: a perspective. *Journal of Medical Imaging*. 2017;4(3): 031206. Doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031206
17. Martin CJ, Harrison JD, Rehani MM. Effective dose from radiation exposure in medicine: past, present, and future. *Physica Medica*. 2020;79: 87–92. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.020>

Received: May 05, 2022

For correspondence: Sergey A. Ryzhov – Vice-President of the Association of Medical Physicists of Russia; Head of the Department of Radiation Safety and Medical Physics, National Medical Research Center for Pediatric Hematology, Oncology and Immunology after Dmitry Rogachev; Researcher, Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow City Health Department, Moscow, Russia (117997, Moscow, GSP-7, str. Samora Mashela, 1; E-mail: mosrg@mail.ru)

Alexander V. Vodovatov – PhD, Leading Researcher, Head of Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being; Saint-Petersburg, Russia

Ilya V. Soldatov – Head of Laboratory in Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow City Health Department, Moscow, Russia

Zoya A. Lantukh – Head of the Department of Dosimetric Control and Medical Physics in Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow City Health Department, Moscow, Russia

Anna N. Mukhortova – Head of the Information and Analytical Department in Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow City Health Department, Moscow, Russia

Yulia V. Druzhinina – Expert of the Department of Clinical Dosimetry and Medical Physics in Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow City Health Department; teacher of the Department of Radiation Hygiene after Academician F.G. Krotkova of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Polina S. Druzhinina – junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ryzhov S.A., Vodovatov A.V., Soldatov I.V., Lantukh Z.A., Mukhortova A.N., Druzhinina Yu.V., Druzhinina P.S. 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. Vol. 15, No. 3. P. 92-109. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109

Опыт работы Республиканского научно–практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь по выполнению мероприятия Союзного государства по оказанию комплексной медицинской помощи населению, пострадавшему от катастрофы на ЧАЭС

А.В. Рожко

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Гомель, Республика Беларусь

Реализация адресной медицинской помощи населению Республики Беларусь и России, пострадавшему от катастрофы на Чернобыльской АЭС, осуществляется в рамках национальных целевых программ и в рамках мероприятия Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшихся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» на базе медицинских центров России и Беларуси. Актуальность проведения мероприятия по оказанию отдельных видов специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи гражданам Республики Беларусь, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, обусловлено повышением уровня заболеваемости по таким нозологическим формам, как хроническая почечная недостаточность, вторичный и третичный гипопаратиреоз, заболевания сетчатой оболочки глаза и стекловидного тела, иммунодефицитные состояния, варикозное расширение вен нижних конечностей, острый лимфобластный лейкоз и лимфомы у детей. На территории Республики Беларусь в 2016–2021 гг. оказание комплексной медицинской помощи в рамках мероприятия осуществлялось в ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека», где за эти годы высокотехнологичную и специализированную медицинскую помощь получили 1607 граждан Республики Беларусь, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС (в 2016 г. – 238, в 2017 г. – 260, в 2018 г. – 264, в 2019 г. – 264, в 2020 г. – 278, в 2021 г. – 303). Основная часть медицинской помощи была оказана по хирургическим направлениям (трансплантация почки и паразитовидных желез, операции на заднем отрезке глаза, реконструктивные операции тазового дна у женщин, лазерная коррекция вен). Успешная реализация мероприятия в 2016–2021 гг. позволила проработать предложения и на последующие годы с уточнением объемов финансирования и дополнительных объемов оказания комплексной медицинской помощи нуждающимся гражданам, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на ЧАЭС.

Ключевые слова: катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции, пострадавшее население, мероприятие Союзного государства, высокотехнологичная медицинская помощь, специализированная медицинская помощь, ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека».

Введение

За прошедшие после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) годы в Республике Беларусь было разработано и действовало 6 государственных программ, а в настоящее время реализуется седьмая государственная программа по преодолению последствий катастрофы на ЧАЭС на 2021–2025 гг. Основной целью седьмой программы является дальнейшее снижение риска неблагоприятных последствий для здоровья населения, пострадав-

шего от катастрофы на ЧАЭС. Результатом реализации данных программ стала стабилизация и улучшение показателей состояния здоровья пострадавшего населения.

В то же время результаты мониторинга показателей состояния здоровья населения Республики Беларусь и Российской Федерации, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС, показали необходимость организации ряда мероприятий, дополняющих комплекс работ по охране здоровья пострадавшего населения, проводимых в рам-

Рожко Александр Валентинович

Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека

Адрес для переписки: 246040, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Ильича, д. 290; E-mail: snikonovich@gmail.com

ках Программы совместной деятельности Союзного государства по преодолению последствий Чернобыльской катастрофы и национальных целевых программ.

Впервые в 2016 г. в соответствии с приоритетными направлениями и первоочередными задачами дальнейшего развития Союзного государства на среднесрочную перспективу (2014–2017 гг.), утвержденными Постановлением Высшего Государственного Совета Союзного Государства от 03.03.2015 г. № 3, во исполнение Постановления Совета министров Союзного государства от 12 мая 2016 г. № 26 принято решение о проведении отдельного мероприятия Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (Мероприятие), основной целью которого являлось повышение доступности и качества медицинской помощи отдельным категориям граждан Республики Беларусь и Российской Федерации, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на ЧАЭС.

Проведение в 2016–2021 гг. Мероприятия определялось решениями Высшего Государственного Совета Союзного государства, приоритетными направлениями и первоочередными задачами дальнейшего развития Союзного государства на среднесрочную перспективу (2014–2017 гг.) и дальнейшего развития Союзного государства на 2018–2022 гг., утвержденными Постановлением Высшего Государственного Совета Союзного Государства от 03.03.2015 г. № 3, от 19.06.2018 г. №3. Финансирование Мероприятия в 2016–2021 гг. осуществлялось в соответствии с ежегодно утверждаемыми Декретом Высшего Государственного Совета Союзного государства «О бюджете Союзного государства», сводной сметой расходов средств бюджета Союзного государства на выполнение Мероприятия, утверждаемой Государственным секретарем Союзного государства, Положением о мероприятии Союзного государства «Оказание комплексной медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», утвержденным Министрствами здравоохранения Республики Беларусь и Российской Федерации, Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

В качестве Государственных заказчиков проведения Мероприятия выступили Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Российской Федерации, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

В рамках выполнения Мероприятия государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» (ГУ «РНПЦ РМиЭЧ»); медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба – филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский радиологический центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное учрежде-

ние «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий оказывали комплексную медицинскую помощь гражданам Республики Беларусь и Российской Федерации, пострадавшим от катастрофы на ЧАЭС, которая включала медицинское обследование, оказание специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи, медицинскую реабилитацию.

На территории Республики Беларусь в 2016–2021 гг. оказание комплексной медицинской помощи в рамках Мероприятия осуществлялось в ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», которое является многопрофильным учреждением, обладающим уникальной лечебно-диагностической базой и большим опытом лечения ликвидаторов аварии на ЧАЭС и населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях. Учреждение является головным в Республике Беларусь учреждением по проблемам ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС и ведущим центром по оказанию медицинской помощи различным категориям пострадавшего населения. Основной целью деятельности государственного учреждения является оказание медицинской помощи населению, подвергшемуся воздействию неблагоприятных факторов внешней среды, в том числе и радиационного, на основе внедрения результатов научно-исследовательских работ, новейших медицинских технологий и современных достижений науки и техники в практическое здравоохранение [1].

Мероприятие является актуальным и важным и имеет социально-экономическое значение, направлено на:

- повышение доступности и качества медицинской помощи отдельным категориям граждан Беларуси и России, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС;
- снижение инвалидности и смертности граждан Беларуси и России.

На этапе планирования адресной медицинской помощи пострадавшему населению в рамках Мероприятия на основании анализа данных о состоянии здоровья пострадавшего населения, состоящего на учете в Государственном регистре лиц, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС и других радиационных аварий, были определены виды и направления оказания специализированной и высокотехнологичной медицинской помощи.

Результаты исследования

Актуальность проведения Мероприятия по оказанию отдельных видов специализированной, в том числе высокотехнологичной, медицинской помощи гражданам Республики Беларусь, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, обусловлена данными по заболеваемости [2].

Динамика первичной инвалидности характеризуется уменьшением показателя у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС с 128,0 в 2019 г. до 93,0 в 2021 г., и у населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях, с 54,7 в 2019 г. до 48,1 в 2021 г. на 10 000 человек. Основными инвалидизи-

рующими заболеваниями являются болезни системы кровообращения, новообразования, болезни костно-мышечной системы, болезни эндокринной системы, органа зрения и др. Контингент инвалидов среди ликвидаторов представлен преимущественно мужчинами и включает лиц, большая часть которых признана инвалидами бессрочно.

Анализ заболеваний, осложнениями которых является хроническая почечная недостаточность, для лечения которой может использоваться трансплантация почки, показывает, что среди ликвидаторов отмечается рост заболеваемости (с 13,0 в 2010 г. до 30,1 на 100 000 населения в 2020 г.). Среди населения, проживающего на пострадавших территориях, отмечается та же тенденция к росту, но менее выраженная (с 7,2 в 2010 г. до 12,9 на 100 000 населения в 2020 г.). Кроме того, у 30% пациентов, страдающих хронической болезнью почек и получающих заместительную почечную терапию и нуждающихся в трансплантации почки, определяется вторичный гиперпаратиреоз, приводящий к развитию аденом паращитовидных желез и в последующем – к третичному гиперпаратиреозу, который проявляется в том числе и множественными переломами костей. Профилактика множественных переломов костей является весомым аргументом, указывающим на необходимость раннего хирургического лечения вторичного и третичного гиперпаратиреоза. Хирургическое лечение – трансплантация эндокринной ткани – единственный эффективный и малотравматичный способ сохранения качества жизни таких пациентов. Кроме того, при проведении операций на щитовидной железе зачастую возникает необходимость в трансплантации эндокринной ткани (паращитовидных желез) с целью коррекции послеоперационного гипопаратиреоза.

За последние 10 лет отмечается тенденция к снижению количества заболеваний женской половой системы, являющихся показанием к проведению реконструктивных операций на тазовом дне (частичное, полное выпадение матки и влагалища), наиболее выраженная среди женщин-ликвидаторов (общая заболеваемость с 1393,5 в 2010 г. до 1192,4 на 100 000 населения в 2020 г.), та же тенденция определяется среди женского населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях (с 1694,1 в 2010 г. до 1101,3 на 100 000 населения в 2020 г.).

Общая заболеваемость тяжелой инвалидизирующей патологией органа зрения (заболевания сетчатой оболочки глаза и стекловидного тела) среди ликвидаторов выросла (с 53161,9 в 2010 г. до 57804,3 на 100 000 населения в 2020 г.). Среди населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях, данный показатель снизился (с 17881,4 в 2010 г. до 16519,8 на 100 000 населения в 2020 г.).

Серьезную проблему для населения, проживающего на загрязнённых радионуклидами территориях, представляют иммунодефицитные состояния. За последние 10 лет показатель первичной заболеваемости первичными иммунодефицитами у детского населения вырос в 1,7 раза. Основным видом специализированной медицинской помощи таким пациентам является заместительная терапия препаратами человеческого иммуноглобулина, что позволяет при адекватности и регулярности ведения сделать прогноз благоприятным, избежать инвалид-

ности, тяжелых инфекционных осложнений и летального исхода. Среди ликвидаторов показатели общей заболеваемости иммунодефицитными состояниями за этот же период выросли более чем в 1,6 раза (с 47,2 в 2010 г. до 77,3 на 100 000 населения в 2020 г.), среди взрослого населения, проживающего на пострадавших территориях, данный показатель вырос более чем в 1,3 раза (с 48,9 в 2010 г. до 64,4 на 100 000 населения в 2020 г.).

Острый лимфобластный лейкоз и лимфомы в настоящее время являются самыми распространенными онкогематологическими заболеваниями детского возраста и составляют порядка 35% от всех злокачественных новообразований в педиатрической практике. Ежегодно выявляется 20–25 новых случаев данной патологии у детей и подростков, проживающих на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, и которые нуждаются в оказании специализированной медицинской помощи длительное время.

Также острой проблемой является профилактика тромбозов легочной артерии. Каждый второй случай смерти пациентов кардиологического профиля связан с тромбозом легочной артерии. Один из главных факторов риска тромбоза – патология вен нижних конечностей, удельный вес которой у пациентов трудоспособного возраста среди пострадавшего населения достаточно высок.

Анализ заболеваемости варикозным расширением вен нижних конечностей у ликвидаторов показал рост общей заболеваемости с 7421,8 в 2010 г. до 8531,5 на 100 000 населения в 2020 г. Среди населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях, данный показатель вырос незначительно (с 1666,6 в 2010 г. до 1682,7 на 100 000 населения в 2020 г.). Использование малоинвазивной методики эндоваскулярной лазерной коагуляции вен в лечении патологии вен нижних конечностей снизит до минимума вероятность возникновения послеоперационных осложнений, позволит быстро восстановить трудоспособность пациента и тем самым снизит риск развития тяжелой сердечно-сосудистой патологии и смертность от болезней системы кровообращения.

За период 2016–2021 гг. на базе ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» в рамках Мероприятия высокотехнологичную и специализированную медицинскую помощь получили 1607 граждан Республики Беларусь, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС (в 2016 г. – 238, в 2017 г. – 260, в 2018 г. – 264, в 2019 г. – 264, в 2020 г. – 278, в 2021 г. – 303) (табл. 1).

Высокотехнологичная медицинская помощь в 2016–2021 гг. была оказана 832 гражданам, подвергшимся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС, в том числе: офтальмологические операции – 389, реконструкция тазового дна с применением сетчатых имплантатов – 212, трансплантация почки – 34; трансплантация эндокринных тканей (паращитовидная железа) – 197.

Специализированную медицинскую помощь получили 775 пациентов, в том числе: офтальмологические операции – 78, из них 44 – хирургия глаукомы, лазерная коррекция вен при патологии вен нижних конечностей – 350; лечение первичных иммунодефицитов – 60; диагностика и лечение лейкозов и лимфом у детей – 260; резекция и (или) экстирпация мочеполювых органов – 27.

Преодоление последствий радиационных аварий

Основная часть медицинской помощи была оказана по хирургическим направлениям (трансплантация почки и паращитовидных желез, операции на заднем отрезке глаза, реконструктивные операции тазового дна у женщин, лазерная коррекция вен) (табл. 2). Это определяет необходимость внедрения новых технологий по данным

видам ВМП, которые отвечают современным стандартам оказания ВМП.

Заключение

Вопросы оказания адресной медицинской помощи в рамках Мероприятия неоднократно рассматривались

Выполнение Мероприятия Союзного Государства в ГУ «РНПЦ РМиЭЧ» за 2016–2021 гг.

Таблица 1

Execution of the Union State Measure in the Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology in 2016-2021]

[Table 1

Параметр [Indicator]	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016–2021 гг.
Высокотехнологичная медицинская помощь [High-tech medical care]	207	88	127	127	134	149	832
в том числе трансплантация почки [Including kidney transplantation]	12	6	4	4	4	4	34
Специализированная медицинская помощь [Specialized medical care]	31	172	137	137	144	154	775
в том числе диагностика и лечение лейкозов и лимфом у детей [Including diagnostics and treatment of leukemia and lymphomas for children]	–	52	52	52	52	52	260
Всего пациентов [Total number of patients]	238	260	264	264	278	303	1607
Выделено средств, тыс. росс. руб. [Total finance delivered, thousand RUR]	59404,5	49808,3	50000,0	50000,0	50000,0	56000,0	315212,8
Освоено средств тыс. росс. руб. [Finance used, thousand RUR]	58944,4	49808,3	50000,0	33536,5	50000,0	56000,0	298289,2
%	99,2	100	100	67,0	100,0	100,0	94,6

Таблица 2

Оказание медицинской помощи в рамках Мероприятия по направлениям

[Table 2

Provision of medical care within the Measure on main directions]

№ п/п	Наименование [Name]	Количество пациентов (количество случаев госпитализаций) [Number of patients (admissions)]	Выполнение [Execution]
<i>Высокотехнологичная медицинская помощь (ВМП) [High-tech medical care]</i>			
1	Офтальмология (витреоретинальная хирургия) [Ophthalmology (vitreoretinal surgery)]	60	60
2	Трансплантация почки [Kidney transplantation]	4	4
3	Трансплантация эндокринных тканей [Parathyroid gland transplantation]	50	50
4	Гинекология (реконструкция тазового дна) [Gynecology]	35	35
	Итого ВМП [Total High-tech medical care]	149	149
<i>Специализированная медицинская помощь (СМП) [Specialized medical care]</i>			
5	Гематология (лимфомы, лейкозы у детей) [Hematology (lymphomas and leukemia in children)]	52	52

№ п/п	Наименование [Name]	Количество пациентов (количество случаев госпитализаций) [Number of patients (admissions)]	Выполнение [Execution]
6	Иммунопатология (первичные иммунодефициты) [Immune pathologies (primary immunodeficit)]	12	12
7	Сосудистая хирургия (лазерная коррекция вен) [Vessel surgery (laser vein correction)]	70	70
8	Гинекология (резекция и (или) экстирпация мочеполовых органов) [Gynecology (resection and/or extirpation of urogenital organs)]	12	12
9	Офтальмология (хирургия сетчатки, глаукомы) [Ophthalmology (surgery of retina)]	8	8
	Итого СМП [Total specialized medical care]	154	154
	Всего [Total]	303	303

на профильных комиссиях Парламентского Собрания Союза Беларуси и России. Так, в рамках заседания Совета министров Союзного государства, проходившего в г. Гомеле 8 декабря 2017 г., главы правительств Республики Беларусь и Российской Федерации ознакомились с основными направлениями деятельности ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», в том числе опытом реализации Мероприятия Союзного Государства. Было отмечено, что благодаря выполнению Мероприятия удалось увеличить объемы оказанной медицинской помощи для населения, пострадавшего от катастрофы на ЧАЭС, что, в свою очередь, позволило рассматривать данный комплекс работ как эффективный механизм повышения доступности и качества медицинской помощи для данной категории граждан на долгосрочную перспективу.

Успешная реализация Мероприятия в 2016–2021 гг. позволила проработать возможность проведения Мероприятия Союзного государства и на последующие годы с уточнением объемов финансирования и дополнительных объемов оказания комплексной медицинской


помощи нуждающимся гражданам, подвергшимся радиационному воздействию вследствие катастрофы на ЧАЭС.

Декретом Высшего Государственного Совета Союзного государства от 28.02.2022 г. № 2 «О бюджете Союзного государства на 2022 год» статьей 11 утвержден перечень мероприятий Союзного государства с распределением бюджетных ассигнований по государственным заказчикам согласно приложению 5 к настоящему Декрету.

Литература

1. Рожко А.В. Опыт работы ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» по минимизации медицинских последствий катастрофы на ЧАЭС // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. 2022. № 1(27). С. 6-11.
2. Здравоохранение в Республике Беларусь [Электронное издание]: офиц. стат. сб. за 2019 г. Минск: ГУ РНПЦ МТ, 2019. 257 с. URL: https://belcmt.by/docs/Stat/Healthcare_in_RB_2019.pdf. (Дата обращения: 30.06.2022).

Поступила: 30.06.2022 г.

Рожко Александр Валентинович – доктор медицинских наук, доцент, Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь. **Адрес для переписки:** 246040, Республика Беларусь, Гомель, ул. Ильича, д. 290; Email: snikonovich@gmail.com
ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-9965-8424>

Для цитирования: Рожко А.В. Опыт работы Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь по выполнению мероприятия Союзного государства по оказанию комплексной медицинской помощи населению, пострадавшему от катастрофы на ЧАЭС // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 110-115. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-110-115

The experience of the Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology in the implementation of the Union State measure to provide comprehensive medical care to the population affected by the Chernobyl disaster

Aleksandr V. Rozhko

Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology, Ministry of Health of the Republic of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

The implementation of targeted medical care to the population of the Republic of Belarus and Russia affected by the Chernobyl disaster is carried out within the framework of national targeted programs, as part of the Union State event «Providing comprehensive medical care to certain categories of citizens of Belarus and Russia exposed to radiation as a result of the Chernobyl disaster» based on medical centers in Russia and Belarus. The relevance of the Measure for the provision of certain types of specialized, including high-tech, medical care to citizens of the Republic of Belarus exposed to radiation as a result of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant is based on the data on morbidity. The analysis of diseases showed an increase in morbidity rates for such nosological forms as chronic renal failure, secondary and tertiary hypoparathyroidism, diseases of the retina and vitreous body, immunodeficiency states, varicose veins of the lower extremities, acute lymphoblastic leukemia and lymphomas in children. On the territory of the Republic of Belarus in 2016–2021, the provision of comprehensive medical care within the framework of the Measure was carried out at the Republican Scientific and Practical Center for Radiation Medicine and Human Ecology. In 2016–2021, on the base of the Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology 1607 citizens of the Republic of Belarus who suffered from the Chernobyl disaster received high-tech and specialized medical care (in 2016 – 238, in 2017 – 260, in 2018 – 264, in 2019 – 264, in 2020 – 278, in 2021 – 303). The main part of medical care was provided in the surgical applications: transplantation of the kidney and parathyroid glands, surgeries on the posterior segment of the eye, reconstructive surgeries of the pelvic floor in women, laser vein correction. The successful implementation of the Measure in 2016–2021 made it possible to work out the possibility of holding the Measure of the Union State for subsequent years, specifying the amount of funding and additional volumes of comprehensive medical care for citizens in need who were exposed to radiation due to the Chernobyl disaster.

Key words: disaster at the Chernobyl nuclear power plant, affected population, Union State Measure, high-tech medical care, specialized medical care, Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology.


References

1. Rozhko AV. Experience of the State institution «The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology» in minimizing the medical consequences of the Chernobyl accident. *Mediko-biologicheskie problemy zhiznedeyatel'nosti = Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2022;1(27): 6–11. (In Russian).

2. Public health in the Republic of Belarus. An official statistics collection, 2019. Minsk, State Institution «Republican Scientific and Practical Center for Medical Technologies, Informatization, Administration and Management of Health». Available from: https://belcmt.by/docs/Stat/Healthcare_in_RB_2019.pdf. [Accessed 30.06.2022]. (In Russian).

Received: June 30, 2022

For correspondence: Aleksandr V. Rozhko – Dr. Med. Sci., Associate Prof., Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology, Ministry of Health of the Republic of Belarus (290, str. Ilyicha, Gomel, Republic of Belarus, 246040; E-mail: snikonovich@gmail.com)

ORCID  <https://orcid.org/0000-0001-9965-8424>

For citation: Rozhko A.V. The experience of the Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology in the implementation of the Union State measure to provide comprehensive medical care to the population affected by the Chernobyl disaster. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 110–115. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-110-115

Aleksandr V. Rozhko

Republican Research Centre for Radiation Medicine and Human Ecology

Address for correspondence: 290, str. Ilyicha, Gomel, Republic of Belarus, 246040; E-mail: snikonovich@gmail.com

Этапы радиационного мониторинга на территории Тульской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС

В.В. Болдырева, В.Н. Овчарова

Центр гигиены и эпидемиологии в Тульской области, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Тула, Россия

Более половины территории Тульской области подверглось загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В статье описаны этапы радиационно-гигиенического мониторинга объектов среды обитания в зонах радиоактивного загрязнения Тульского региона. Приведена информация по изменению зон радиоактивного загрязнения в разные послеварийные периоды. Дана оценка радиационной обстановки в начальный «йодный» период аварии, последующий «цезиевый» период и на современном этапе. Описаны проводимые госсанэпидслужбой области по результатам радиационного мониторинга мероприятия, направленные на снижение дозовой нагрузки населения на разных этапах контроля. Дана информация о высоких уровнях гамма-фона до 35 мкЗв/ч в «йодный» период. Представлены данные о превышении временных допустимых уровней по содержанию йода-131 в молочной продукции, производимой в наиболее загрязненном Плавском районе области. Приведены данные лабораторных исследований пищевых продуктов на суммарную бета-активность в 1986–1987 гг. и число превышений допустимых уровней по содержанию цезия-137 в 1986 г. Превышения допустимых уровней радионуклидов в пищевых продуктах регистрировались только в 1986 г. за счет поверхностного загрязнения растений, а в дикорастущих грибах – вплоть до 2004 г. На современном этапе достоверное содержание цезия-137 и стронция-90 в пищевой продукции можно определить только радиохимическим методом. Представлены результаты радиохимических исследований основных дозообразующих пищевых продуктов за период с 2010 по 2021 г. В статье приведены численные значения среднегодовых эффективных доз облучения населения, проживающего в населенных пунктах, входящих в зоны радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, за 1986–2021 гг. Среднегодовая эффективная доза облучения населения с 1994 г. не превышает 1 мЗв/год. Годовая эффективная доза облучения населения, проживающего в 98,3% населенных пунктов, отнесенных к зоне радиоактивного загрязнения, в 2021 г. составляла менее 0,2 мЗв/год.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радиоактивное загрязнение, радиационный мониторинг, радионуклиды, допустимые уровни, активность, радиохимические и спектрометрические исследования, дозы облучения населения.

Введение

Одной из самых крупных техногенных катастроф XX в. стала авария на Чернобыльской АЭС.

При взрыве реактора 4-го энергоблока в атмосферу было выброшено значительное количество различных радионуклидов, из которых наиболее значимыми в формировании дозы облучения населения явились ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs . Радиоактивному загрязнению подверглась территория площадью более 200 000 км², из них примерно 70% приходится на территории Белоруссии, Украины и России [1].

Чернобыльские осадки выпали на территории площадью более 57 000 км² в 19 субъектах Российской Федерации [2].

Серьезно пострадала Тульская область. Радиоактивными осадками была загрязнена территория 18 из 25 районов области, это 56,65% от всей площади региона, где в 2054 населенных пунктах проживало около 923,78 тыс. человек [3].

В 1997 г. число населенных пунктов, отнесенных к зоне радиоактивного загрязнения, уменьшилось до 1306. Постановлением Правительства РФ № 1582 от 18 декабря 1997 г. к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом было отнесено 1184 населенных пункта с населением 719 тыс. человек и к зоне проживания с правом на отселение – 122 населенных пункта с населением 31,9 тыс. человек¹.

¹ Постановление Правительства РФ от 18.12.1997 г. № 1582 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». М., 1997. [Order of the Russian Federation Government dd 18.12.1997 № 1582 «On approval of the list of settlements within the boundaries of radioactive pollution zones caused by Chernobyl NPP accident». Moscow; 1997 (In Russ.)]

Овчарова Валентина Николаевна

Центр гигиены и эпидемиологии в Тульской области

Адрес для переписки: 300045, Россия, г. Тула, ул. Оборонная, д. 114; E-mail: radlab.fbuz71@mail.ru

Зона «чернобыльского» загрязнения и в настоящее время охватывает значительные территории сельскохозяйственных угодий, лугов, лесов, водоисточников, городских и сельских поселений Тульской области.

Современное зонирование загрязненных территорий определяется Постановлением Правительства РФ от 08.10.2015 г. № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС». В Тульской области в границах зон радиоактивного загрязнения осталось 1215 населенных пунктов, 27 из них – в зоне проживания с правом на отселение и 1188 – в зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом. На загрязненной территории проживает около 640 000 человек, что составляет 45% от общей численности населения².

Результаты и обсуждение

«Радиоактивное облако» достигло границ Тульской области в ночь с 28 на 29 апреля 1986 г. Вместе с атмосферными осадками различной интенсивности на земную поверхность выпали и радионуклиды. Неравномерно выпавшие осадки, сложная траектория движения воздушных масс и различия ландшафтных условий определили выраженный пятнистый характер загрязнения огромной территории области в направлении с юго-запада на северо-восток [3].

С первых дней аварии перед государственной санитарно-эпидемиологической службой Тульской области встала задача по организации и осуществлению радиационно-гигиенического мониторинга за объектами среды обитания человека на загрязненной территории. Для принятия оперативных решений по защите населения от аварийного облучения необходимо было изучить радиационную обстановку, характер и уровни загрязнения.

Радиационный мониторинг на радиоактивно-загрязненной территории области в послеаварийный период условно можно разделить на 3 этапа.

На начальном этапе для оценки радиационной обстановки была развернута сеть лабораторного наблюдения из 31 лаборатории санитарно-эпидемиологической службы. Был начат почасовой контроль уровней мощности дозы внешнего гамма-излучения во всех районных центрах области. Наиболее точные результаты были получены с помощью измерителя мощности дозы (рентгенметра) «ДП-5В». На обширной территории Тульской области регистрировались высокие уровни гамма-излучения, в десятки и сотни раз превышающие прежние значения. Максимальная мощность дозы гамма-излучения в 35 мкЗв/ч была отмечена в г. Плавске. В контрольных точках остальных 17 районов регистрировались уровни от 17 мкЗв/ч до 5 мкЗв/ч.

По результатам радиационного мониторинга органы власти принимали решения по проведению комплекса защитных дезактивационных мероприятий на местности. Контроль проводился в первую очередь на территории детских и лечебных учреждений, а также в зонах отдыха и в местах массового пребывания людей. Естественный распад йода-131 и комплекс защитных мероприятий уже к концу мая 1986 г. позволили значительно снизить уровни гамма-фона в десятки раз до значений от 3 до 0,25 мкЗв/ч, тем самым были снижены почти в 2 раза дозы облучения на первом этапе послеаварийного периода [4].

Этот период условно можно назвать «йодным», так как особую опасность из всех выпавших радионуклидов представлял короткоживущий йод-131, обладающий высокой тропностью к щитовидной железе и создающий высокие дозы облучения в этом органе. В большей степени этот радионуклид опасен для детского организма. Это объясняется маленькой массой железы у детей и более высокой ее накопительной способностью, чем у взрослых, а также преобладанием в детском рационе молочных продуктов [2].

Главной задачей в «йодный период», требующей пристального внимания службы, было предотвращение повышенного поступления йода-131 в организм человека с продуктами питания (особенно с молоком, зеленью и ранними овощами).

Руководящим документом для принятия решений по выбраковке загрязненной радионуклидами пищевой продукции стали первые временные допустимые уровни (ВДУ), введенные 6 мая 1986 г.³

В 1986 г. санэпидслужбой было проведено 33,4 тысяч лабораторных исследований пищевых продуктов, воды, объектов внешней среды, в том числе за первые 3 месяца после аварии было проведено почти 14 000 исследований на содержание радиойода, радиоцезия и на суммарную бета-активность.

В первых числах мая 1986 г. определение содержания радиойода проводилось трудоемким радиохимическим методом, а с 11 мая при непосредственном участии специалистов Ленинградского научно-исследовательского института радиационной гигиены в работу был внедрен спектрометрический метод с использованием одноканального гамма-спектрометра «НК-150» (Венгрия) и гамма-тиреоидометра «ГТРМ-01ц» (Россия). Это позволило значительно ускорить проведение лабораторных исследований, тем самым увеличив объем контролируемой продукции.

В мае 1986 г. из 3926 проб молока и молочной продукции было выявлено 158 проб (4%) с превышением ВДУ по содержанию йода-131. Массовый выпас скота на пастбищах, где произошло поверхностное загрязнение растительности и почвы, стал причиной загрязнения

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». М., 2015. [Order of the Russian Federation Government dd 08.10.2015 № 1074 «On approval of the list of settlements within the boundaries of radioactive pollution zones caused by Chernobyl NPP accident». Moscow; 2015 (In Russ.)]

³ ВДУ-86. Временные допустимые уровни содержания радиоактивных веществ в продуктах питания, питьевой воде, лекарственных травах (суммарная бета-активность). No 129–252/ДСП от 30 мая 1986 г. М.: Минздрав СССР, 1986. 1 с. [VDU-86. Temporary permissible levels of radioactive substances in food, drinking water, medicinal herbs (total beta activity). No 129–252/DSP, 30 May 1986. Moscow: Minzdrav SSSR; 1986. P. 1. (In Russ.)]

молока йодом-131. Максимальное содержание йода-131 было обнаружено в 13 наиболее загрязненных хозяйствах Плавского района, где допустимый уровень был превышен в 650 раз. В течение мая 1986 г. концентрация йода-131 в молоке постепенно снижалась, достигнув значений ниже допустимого уровня (табл. 1) [3].

По результатам радиационного контроля на этом этапе было отправлено на промышленную переработку 5120 тонн молока.

Проведенный бракераж партий молока, в котором удельная активность йода-131 превышала установленное ВДУ значение, позволил существенно снизить дозу внутреннего облучения населения в начальный период после аварии.

Второй, «цезиевый» этап радиационного мониторинга наступил после естественного распада йода-131. На этом этапе определяющими радиационную обстановку факторами становились радионуклиды цезия-134, 137 и в меньшей степени стронций-90.

В ВДУ-86 от 30.05.1986 г. были регламентированы уровни суммарной бета-активности в продуктах питания, был учтен доминирующий вклад цезия-134, 137 в дозу внутреннего облучения, обладающего высокой способностью легко мигрировать в экологической системе «Почва→ растение→ животное→ человек».

В начальной стадии «цезиевого периода» содержание изотопов цезия в продуктах растениеводства и животноводства определялось радиометрическим методом с использованием декадно-счетной установки ДП-100. Проводились исследования нативных проб экспресс-методом без озоления и радиохимической пробоподготовки. Но уже к сентябрю 1986 г. из-за снижения радиоактивного загрязнения пищевых продуктов результаты радиометрических исследований «в толстом слое» стали статистически недостоверными.

По данным радиохимического анализа суммарная бета-активность проб обуславливалась, в основном, ¹³⁷Cs и ¹³⁴Cs. В значительно меньших концентрациях были выделены ¹⁴⁰Ba, ⁹⁰Sr, ⁹¹Y, ^{141,144}Ce.

Загрязнение мяса и молока радионуклидами цезия выше ВДУ имело место только в 1986 г. в хозяйствах наиболее загрязненных районов области – Плавского, Арсеньевского, Щекинского и Тепло-Огаревского. Отмечалось превышение ВДУ 370 Бк/кг в 1,5–2,0 раза в зерновых и ягодах, регистрировались превышения ВДУ

3700 Бк/кг в 1,5 раза в зелени. Исследовано 3032 пробы мяса и мясопродуктов, с превышением ВДУ 3700 Бк/кг в 80 пробах (2,6%); из 366 исследованных проб ягод в 10 пробах ягод смородины (2,7%) обнаружено превышение временного норматива в 370 Бк/кг.

Основную роль в загрязнении сельскохозяйственной продукции в 1986 г. сыграла сорбция радионуклидов на поверхности растений. После покоса трав, смыва радионуклидов дождями загрязнение животноводческой продукции – молока и мяса снизилось.

Превышение допустимых уровней по суммарной бета-активности 370 Бк/кг регистрировалось в осенний период 1986 г. только в молоке Плавского района (до 445 Бк/л) и в зерновых, выращенных на полях наиболее загрязненных районов области – Арсеньевского, Щекинского, Киреевского и Плавского (до 850 Бк/кг) [3].

По мере улучшения радиационной обстановки ужесточались требования к показателям радиационной безопасности пищевой продукции местного производства и привозной продукции.

Превышения допустимых уровней цезия-134, 137 в пищевой продукции местного сельскохозяйственного производства регистрировались до 1987 г., в дикорастущих грибах – до 2004 г., так как плодородный состав почвенного покрова (черноземы, серые лесные) имеет низкий коэффициент перехода «Почва→растение» по корневому пути загрязнения растительности [2].

В 1990-е гг. гамма-съемка радиоактивно-загрязненной территории решала задачи по выявлению локальных участков с высокой плотностью загрязнения, образованных вторичным путем, за счет миграции радионуклидов с дождевыми и тальными водами. Эти небольшие участки, как правило, встречались под стоками крыш, в понижениях рельефа, на заболоченных участках местности и оказывали незначительное влияние на увеличение дозы внешнего облучения населения. Но их наличие являлось фактором, значительно усиливающим радиофобию среды населения. Поэтому на этих территориях осуществлялся комплекс санитарно-гигиенических мероприятий, включающих дезактивационные работы путем снятия верхнего слоя почвенного покрова, засыпки чистым грунтом, благоустройства территории.

На современном этапе продолжается работа по уточнению радиационной обстановки во всех радиоактивно-загрязненных районах области, исследуются все

Динамика снижения содержания ¹³¹I в молоке коллективных хозяйств Плавского района в мае 1986 г.

Таблица 1

Dynamics of reduction of ¹³¹I content in milk supplied by collective farms of the Plavsk district in May 1986]

[Table 1

Значение [value]	Удельная активность ¹³¹ I в молоке, кБк/л(кг) [Specific activity of ¹³¹ I in milk, kBq/(kg)]					
	11.05.86*	14.05.86	19.05.86	22.05.86	27.05.86	31.05.86
Максимальное [maximum]	240	8,14	7,41	5,18	2,78	1,41
Минимальное [minimum]	3,7	0,19	0,10	0,11	0,11	0,07
Среднее [average]	67,3	3,85	2,66	2,13	1,07	0,56
ВДУ [TPL]				3,7		

* пробы отобраны 6–7 мая 1986 г.
[* samples taken 6–7 May, 1986].

факторы, формирующие дозы внешнего и внутреннего облучения населения.

Этот этап характеризуется стабильными показателями радиационной обстановки в течение многих лет, имеющими тенденцию к постепенному приближению к уровням доаварийного периода.

В рамках социально-гигиенического мониторинга продолжается наблюдение за радиационным фоном в контрольных стационарных точках, показатели которого стабильны и находятся в пределах естественных колебаний, характерных для средних широт европейской территории Российской Федерации. В среднем уровни гамма-фона в контрольных точках на загрязненной территории составляют 0,11–0,15 мкЗв/ч при максимальном значении 0,15 мкЗв/ч в г. Плавске. В отдельных локациях населенных пунктов регистрируются значения мощности дозы внешнего гамма-излучения до 0,18 мкЗв/ч.

Приоритетно исследуются основные дозообразующие местные пищевые сельскохозяйственные и природные продукты, наиболее часто употребляемые в рационе питания (молоко, картофель, дикорастущие грибы и ягоды), формирующие среднегодовую эффективную дозу облучения населения [5].

Основными критериями выборки населенных пунктов для радиационного обследования являются принадлежность к наиболее загрязненным зонам по плотности загрязнения почвы, численность населения, демографические показатели и наличие местного производства животноводческой и растениеводческой продукции.

Для получения достоверной информации о содержании цезия-137 и стронция-90 исследования проводятся в основном радиохимическим методом, так как активность этих радионуклидов находится ниже предела чувствительности спектрометрического метода.

По данным радиохимических исследований видна закономерная тенденция снижения активности цезия-137 и стронция-90 в пищевой продукции местного производства (табл. 2).

Одним из критериев радиационной безопасности условий проживания населения на загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС территориях явля-

ется средняя годовая эффективная эквивалентная доза облучения (СГЭД).

В Тульской области проводились измерения населения на спектрометрах излучения человека (СИЧ) на содержание ¹³⁷Cs в организме.

Данные прямых СИЧ-измерений содержания радионуклидов в организме жителей явились наиболее информативными показателями в части оценки доз облучения. Специалистами Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены в 2011 г. был получен достоверный результат совпадения оценок доз внутреннего облучения жителей, полученных как с использованием модельных расчетов, так и с помощью результатов СИЧ-изменений жителей [5].

В течение первых 2 лет после аварии, когда формировалась основная часть накопленной дозы облучения, проводились массовые дозиметрические обследования населения, проживающего на загрязненной территории. Дозиметрический контроль проводился по единой методике, разработанной Санкт-Петербургским НИИ радиационной гигиены. Дозиметрическим обследованием в 1986 г. было охвачено 27 000 жителей Плавского района. Всего же за весь послеаварийный период было обследовано более 80 000 взрослого населения и детей наиболее загрязненных районов.

Даже в самом радиоактивно-загрязненном Плавском районе уровни содержания радионуклидов цезия в организме жителей были невелики, поэтому точность СИЧ-измерений сопровождалась высоким процентом неопределенности измерений. У взрослого населения определяемые уровни удельной активности радиоцезия варьировали от 3,7 кБк до 130 кБк, у детей регистрировался уровень в диапазоне от 1,5 до 15,0 кБк.

Несмотря на низкий уровень содержания изотопов цезия в организме жителей загрязненных районов, в последующие годы наблюдалось явное снижение активности радионуклида в теле человека. В 1987 г. содержание изотопов цезия в организме населения Тульской области уменьшилось в 1,5–2,0 раза по сравнению с 1986 г. В третий послеаварийный год тенденция на снижение активности изотопов цезия в организме сохранилась.

Таблица 2

Динамика сводных данных радиационного мониторинга основных дозообразующих продуктов питания местного производства за 2010–2021 гг.

[Table 2

Dynamics of summarized data on radiation monitoring of the locally produced major dose contributing food products in 2010-2021]

Период мониторинга [Monitoring period]	Содержание ¹³⁷ Cs, Бк/л(кг) [¹³⁷ Cs content, Bq/l(kg)]						Содержание ⁹⁰ Sr, Бк/л(кг) [⁹⁰ Sr content, Bq/l(kg)]					
	молоко [milk]		картофель [potatoes]		грибы [mushrooms]		молоко [milk]		картофель [potatoes]		грибы [mushrooms]	
	макс. [max]	сред. [avg]	макс. [max]	сред. [avg]	макс. [max]	сред. [avg]	макс. [max]	сред. [avg]	макс. [max]	сред. [avg]	макс. [max]	сред. [avg]
2010–2015	4,49	0,87	6,32	0,95	207,0	10,62	0,88	0,18	0,95	0,17	1,19	0,22
2016–2021	4,19	0,38	1,75	0,33	78,7	6,66	0,27	0,11	0,29	0,11	0,3	0,15
Допустимый уровень [permissible level]	100		80		500		25		40		-	

У взрослого населения в среднем содержание радионуклидов цезия регистрировалось 10 кБк, максимально 30 кБк, у детей в среднем от 1 до 2,5 кБк, максимально 7 кБк.

В последующие периоды радиационного мониторинга продолжался выборочный дозиметрический контроль внутреннего облучения населения наиболее загрязненных районов области, а с 1994 г. начали проводить прямые измерения накопленных за определенный период доз внешнего облучения методом ТЛД-дозиметрии.

На всех этапах мониторинга радиационной обстановки инструментальными методами (СИЧ, ТЛД-дозиметрия, измерения МЭД, радиохимический анализ пищевых продуктов) была получена достоверная информация о фактических уровнях облучения населения.

По мере улучшения радиационной обстановки за счет снижения уровней внешнего гамма-излучения и поступления радионуклидов цезия в организм с продуктами питания ужесточались временные пределы годовой дозы облучения населения, проживающего в зонах радиоактивного загрязнения. Регламентированный предел допустимого уровня облучения за первый послеаварийный год составил 100 мЗв. В 1987 г. численное значение предела годовой дозы облучения было снижено до 30 мЗв, в 1988–1989 гг. норматив уменьшился до 25 мЗв. В 1991 г. была принята «Концепция проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС», согласно которой предел среднегодовой эффективной дозы в 1 мЗв является допустимым, проживание и хозяйственная деятельность по радиационному фактору не требуют специальных защитных мероприятий [2].

Для оценки средних годовых и накопленных эффективных доз облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях области, за любой прошедший год с начала аварии на Чернобыльской

АЭС по результатам радиационного мониторинга ведется региональная база данных по дозам облучения населения (РБДД) в программном модуле «Рег-БД71».

Среднегодовые эффективные дозы облучения (СГЭД) в диапазоне от минимальных до средних значений, приведенных в таблице 3, в разные периоды наблюдений после аварии на ЧАЭС регистрировалась у населения более 60% населенных пунктов Тульского региона, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения.

Для населения 98,3% населенных пунктов Тульской области, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, СГЭД за 2021 г. составила менее 0,2 мЗв.

Основная доля накопленной дозы с 1986 г. сформирована в первые послеаварийные годы. В среднем эффективная накопленная доза облучения населения радиоактивно-загрязненной зоны области за период с 1986 по 1988 г. составила 4,33 мЗв, причем почти 2/3 пришлось на дозу внешнего облучения. Максимальные значения накопленной дозы от 15 до 23,43 мЗв за этот период зарегистрированы в 9 населенных пунктах (табл. 4).

В последующий период контроля накопленная доза формировалась в большей степени (80–92%) за счет внешнего облучения. В 1991 г. СГЭД облучения населения в среднем состояла на 90,4% из дозы внешнего облучения, в последующие годы это соотношение практически не менялось. В 2021 г. максимальное значение СГЭД 0,32 мЗв зарегистрировано в д. Рождествено-1 Плавского района, которая составила на 90,6% из дозы внешнего облучения 0,29 мЗв.

Прогнозируемые средние накопленные эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Тульской области, пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС, к 2056 г. не превысят предел дозы за жизнь 70 мЗв. Учитывая, что величины средних годовых эффективных доз облучения жителей пострадавших территорий име-

Таблица 3

Динамика снижения СГЭД облучения населения, проживающего в зонах радиоактивного загрязнения Тульской области за период с мая 1986 г. по 2021 г.

[Table 3

Dynamics of reduction of AAED sustained by population in radioactively contaminated zones of the Tula region from May 1986 to 2021]

Период наблюдений [Observation period]	Дозовый предел [Dose limit]	СГЭД, мЗв [AAED, mSv]		Количество НП с превышением дозового предела [Quantity of settlements with exceeded dose limit]
		средняя [average]	максимальная [maximum]	
Май 1986 г. – апрель 1987 г. [May 1986 – April 1987]	100	2,805	10,40	–
Май 1987 г. – декабрь 1987 г. [May 1987 – December 1987]	30	0,882	7,585	–
1988	25	0,646	5,646	–
1991	1	0,278	1,359	10
1992	1	0,240	1,199	4
1993	1	0,214	1,079	2
1994	1	0,197	0,991	–
2000	1	0,134	0,666	–
2010	1	0,093	0,470	–
2021	1	0,066	0,320	–

Распределение населенных пунктов Тульской области по величине средней накопленной эффективной дозы облучения населения за период с 1986 по 2021 г.

Distribution of the Tula oblast settlements by amount of the average cumulative effective dose for population during 1986–2021]

Количество населенных пунктов [Quantity of settlements]	Интервалы накопленных доз, мЗв [Intervals of cumulative dose, mSv]				
	< 5	5–10	10–20	20–30	30–43
1306	365	562	305	65	9

ют стойкую тенденцию к снижению в течение многих лет, ожидается, что величина накопленной дозы будет значительно меньше 70 мЗв.

Заключение

На каждом этапе радиационного мониторинга на загрязненной территории в результате аварии на Чернобыльской АЭС строилась эффективная система лабораторного контроля, формировались базы данных по результатам исследований пищевых продуктов, воды, уровней эффективной мощности дозы гамма-излучения.

Результаты радиационно-гигиенического мониторинга являются определяющим фактором для проведения комплекса эффективных защитных мероприятий (контрмер), позволившим ограничить дозу внутреннего и внешнего облучения населения радиоактивно-загрязненных территорий.

С 1993 г. ни в одном населенном пункте области, пострадавшем вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, не было установлено значений СГЭД выше 1 мЗв.

Расчетные величины средних годовых эффективных доз облучения населения радиоактивно-загрязненных территорий Тульской области формируются в основном за счет доз внешнего облучения и имеют тенденцию к снижению в течение всего послеаварийного периода.

Личный вклад авторов

Овчарова В.Н. – сбор и анализ первичных материалов, анализ литературных данных, написание первичного текста статьи, статистический анализ.

Болдырева В.В. – общее руководство, корректура и редактирование текста статьи.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность двум рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации, позволившие значительно улучшить качество статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Литература

1. Онищенко Г.Г. Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические и медицинские последствия аварии // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 2. С. 10-19.
2. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под ред. акад. РАН Онищенко Г.Г. и проф. Поповой А.Ю. СПб.: НИИРГ им. проф. Рамзаева, 2016. Т. 1. 448 с.
3. Болдырева В.В., Овчарова В.Н. Итоги 30-летнего радиационно-гигиенического мониторинга на территориях Тульской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 2. С. 48-55.
4. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Барковский А.Н., и др. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и основные направления дальнейшей работы на предстоящий период // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 72-83.
5. Братилова А.А., Брук Г.Я. Влияние потребления различных пищевых продуктов на формирование доз внутреннего облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 53-59.

Поступила: 25.05.2022 г.

Болдырева Виктория Валентиновна – главный врач Центра гигиены и эпидемиологии в Тульской области, Тула, Россия

Овчарова Валентина Николаевна – заведующая радиологической лабораторией Центра гигиены и эпидемиологии в Тульской области. Адрес для переписки: 300045, Россия, Тула, ул. Оборонная, д. 114; E-mail: radlab.fbuz71@mail.ru

Для цитирования: Болдырева В.В., Овчарова В.Н. Этапы радиационного мониторинга на территории Тульской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 116-123. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-116-123

Stages of radiation monitoring on the territory of the Tula region affected in consequence of the Chernobyl NPP accident

Viktoriya V. Boldyreva, Valentina N. Ovcharova

Center of Hygiene and Epidemiology in the Tula Region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Tula, Russia

More than half of the Tula oblast territory was contaminated following the accident at the Chernobyl nuclear power plant. This article describes the stages of radiation hygiene monitoring of objects in the habitat in the Tula region impacted by radioactive contamination. Information is given on changes in radioactively contaminated areas at different periods after the accident. An assessment is made of the radiological situation at the initial "iodic" period of the accident, the subsequent "cesium" period, and at the current stage. A description is given of work done by the oblast's state sanitary and epidemiological service based on radiation monitoring results for reducing the radiation exposure of the population at different stages of supervision. Information is supplied on high levels of gamma background up to 35 mSv/h during the "iodic" period. Tabulated data are supplied on exceeding the tentative maximum permissible level of iodine-131 content in dairy products produced in Plavski district, the most contaminated area in the region. Data are given on laboratory tests on food products for total beta activity in 1986-87 and the frequency of exceeding the permissible level of cesium-137 content during 1986. The above permissible content of radionuclides in food products was registered only in 1986 due to surface contamination of plants, while in wild mushrooms this took place as late as 2004. Currently, the proved content of cesium-137 and strontium-90 in food products is determined only by the radio-chemical method. A table is supplied showing results of radio-chemical research on major dose contributing food products from 2010 to 2021. The article supplies a table with numeric values of annual average effective doses of radiation sustained by the population of settlements located in the Chernobyl radioactively contaminated zone during 1986 through 2021. The dose of the population's exposure to the Chernobyl radiation since 1994 does not exceed 1 mSv/year. In 2021, the population's annual effective dose in 98.3% of settlements amounted to less than 0.2 mSv/year.

Key words: the Chernobyl NPP accident, radioactive contamination, radiation monitoring, radionuclides, permissible levels, activity, radiochemical and spectrometric research, radiation doses to population.

Personal participation of the authors

Ovcharova V.N. – collection and analysis of primary materials, analysis literature data, writing the primary text of the article, statistical analysis.

Boldyreva V.V. – general guidance, correction and editing of the text of the article.

Acknowledgments

The authors express their deep gratitude to two reviewers for constructive comments and recommendations, which significantly improved the quality of the article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Information about the source of funding

The study was not financially supported.

References

1. Onishchenko GG. The Chernobyl – Thirty Years After The Post – Accidental Radiological – Hygienic and Medical Consequences. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(2):10-19. (In Russian).
2. Radiological and Hygienic Issues of the Mitigation of the Chernobyl NPP Accident Consequences / Edited by Academician of the Russian Academy of Sciences Onishchenko GG and Professor Popova AYu. St.-Petersburg: RIRH after prof. P.V. Ramzaev; 2016. Vol. 1. 448 p. (In Russian).
3. Boldyreva VV, Ovcharova VV. The Thirty Years' Results of Radiation Hygienic Monitoring of Tula Region territories contaminated due to the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(2):48-55. (In Russian).
4. Bruk GYa, Bazyukin AB, Barkovsky AN, Bratilova AA, Vlasov AYu, Goncharova YuN, et al. The exposure for populations of the Russian Federation due to the Chernobyl accident and main directions of further work in the coming period. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4):72-83. (In Russian).
5. Bratilova AA, Bruk GYa. Influence of the consumption of different foodstuffs on the internal exposure dose formation in the adult population of the Russian Federation after the accident at the Chernobyl NPP. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2):53-59. (In Russian).

Received: May 25, 2022

Valentina N. Ovcharova

Center of hygiene and epidemiology in the Tula region

Address for correspondence: Oboronnaya str, 114, Tula, 300045, Russia; E-mail: radlab.fbuz71@mail.ru

Viktoriya V. Boldyreva – Chief Medical Officer of the Center of Hygiene and Epidemiology in Tula Region, Tula, Russia

For correspondence: Valentina N. Ovcharova – Head of Radiological Laboratory of the Center of Hygiene and Epidemiology in Tula Region (Oboronnaya str, 114, Tula, 300045, Russia; E-mail: radlab.fbuz71@mail.ru)

For citation: Boldyreva V.V., Ovcharova V.N. Stages of radiation monitoring on the territory of the Tula region affected in consequence of the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 116-123. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-116-123

Воспоминания об участии в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС

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

С момента аварии на Чернобыльской АЭС прошло более 36 лет, за эти годы в научных журналах и средствах массовой информации было опубликовано огромное количество статей, книг, фильмов, посвященных данной техногенной катастрофе. В статье представлены воспоминания автора – непосредственного участника решения возникавших проблем в ходе ликвидации последствий аварии. Специалисты Института радиационной гигиены работали на загрязненных территориях Брянской области, Белоруссии совместно с органами санитарно-эпидемиологической службы, проводили обучающие семинары для различных групп населения с целью просвещения и обучения правилам поведения в сложившейся ситуации. Специалисты Института составляли обобщающие докладные о радиационной обстановке на основе ежедневных сводок от всех имевшихся в РСФСР санитарно-эпидемиологических служб о радиоактивном состоянии объектов внешней среды. На основе научных данных были подготовлены Методические указания и рекомендации по профилактике радиотревожности, по работе специалистов с врачами и другими группами населения, написаны и изданы в обществе «Знание» тексты лекций о влиянии радиации на здоровье.

Ключевые слова: авария, Чернобыльская АЭС, защитные мероприятия, радиационная безопасность населения, загрязненные территории, радиометрия, дезактивация, санитарно-эпидемиологические станции, обучающие семинары.

Авария на Чернобыльской АЭС произошла 36 лет назад. Тогда автор воспоминаний была доктором медицинских наук, старшим научным сотрудником Ленинградского научно-исследовательского института радиационной гигиены (далее – Институт). Я была исполнителем, получившим указания от своего начальства, и потому могла не знать многих важных деталей совокупности проводимых защитных мероприятий, тем более, что все материалы, относящиеся к этой проблеме, долгое время имели гриф «секретно».

Авария произошла 26 апреля 1986 г., сам взрыв четвертого энергоблока случился в 1 ч 24 мин. Вследствие неготовности служб АЭС к аварийной ситуации специалисты Института биофизики (теперь ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России) и других причастных и компетентных организаций только к 6 мая смогли разобраться в причинах аварии, последовательности дальнейших событий и спланировать необходимые действия по защите персонала других энергоблоков (1-го, 2-го, 3-го) и населения прилегающих территорий. Об этом подробно рассказано в книге академика Л.А. Ильина «Реалии и мифы Чернобыля», изданной в 1994 г. и повторно – в 1996 г.

Наш Институт (директор – профессор П.В. Рамзаев) получил утром 26 апреля сообщение о прохождении ради-

оактивного облака с короткоживущими радионуклидами (в том числе – йодом) из Финляндии, от ученых-радиологов, с которыми были научные связи. При этом финские коллеги сообщили также, что к ним облако пришло из Швеции. Павел Васильевич сразу же утром позвонил в Министерство здравоохранения РСФСР с вопросом о том, что произошло и каковы задачи Института в данное время. Министр здравоохранения А.И. Потапов, очевидно, был не в курсе и ответил: «Ждите, когда вам позвоним».

Вечером 5 мая 1986 г. группа специалистов Института в составе директора профессора, доктора медицинских наук Павла Васильевича Рамзаева, доктора физико-математических наук Ильи Ароновича Лихтарёва и автора данной публикации выехала в Москву в Министерство здравоохранения РСФСР. В Министерстве директор разговаривал с министром по поводу защитных действий в отношении населения, проживающего на территориях вблизи Чернобыльской АЭС, куда входили приграничные районы Украины, восточные части Гомельской области Белоруссии и западные части Брянской области РСФСР. Министр здравоохранения настаивал на срочной эвакуации населения из 4 населенных пунктов районов Брянской области, наиболее близких к Гомелю, подобно эвакуации населения из г. Припяты на Украине. Наш директор решительно возражал, доказывая ненужность этого действия

Архангельская Генриэтта Владимировна

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

на основе имеющихся у него радиометрических и дозиметрических данных, полученных от руководителя отдела радиационной гигиены районной санэпидстанции Новозыбковского района.

Первое разделение загрязненных территорий проводилось по следующим аварийным нормативам: 1–5 Ки/км²; 5–40 Ки/км² и более 40 Ки/км². Переселение населения проводилось (или должно было проводиться), начиная с территорий с уровнем загрязнения 5–40 Ки/км². На территориях с уровнем загрязнения 1–5 Ки/км² население могло оставаться жить постоянно, выполняя определенные защитные мероприятия.

Вскоре разговор министра и директора перешел на высокие тона, и нас – автора воспоминаний и И.А. Лихтарёва – попросили подождать в коридоре. Чем разговор закончился, мы не знали. Затем мы поехали в клинику № 6 Института биофизики, где принимали, измеряли и решали дальнейшую судьбу людей, прибывших из загрязненных районов Брянской области. В Ленинграде такой пункт радиометрии и дезактивации людей, прибывавших из загрязненных районов, был сначала организован на базе Военно-медицинской академии. В работе этого подразделения принимали участие и сотрудники нашего Института.

После двух дней работы вместе с радиометристами в клинике № 6 мы вернулись в Ленинград. В Институте вскоре были созданы группы специалистов, состоявшие из 3 человек: руководителя группы – врача-гигиениста и двух специалистов – физика (радиометриста, дозиметриста) и радиохимика. Группы должны были выехать в различные города и там работать с местными органами санитарно-эпидемиологической службы – встречаться с врачами-гигиенистами, клиницистами, различными группами населения для их просвещения и обучения правилам поведения в сложившейся ситуации. Необходимо было также проконтролировать работу радиационных отделов городских и областных санэпидстанций. В группу, возглавляемую автором (как врачом-гигиенистом), были включены физик – кандидат биологических наук В.Ф. Дричко и радиохимик – кандидат химических наук Н.С. Швыдко. Нас направили в г. Смоленск, где мы провели с 20 мая 5 дней, обучая работников городской санэпидстанции (отдел радиационной гигиены и др.) отбору проб сельскохозяйственных продуктов и молока, которые везли из Брянской области (особенно из ее западной части) железной дорогой и на автомашинах для продажи на рынках г. Москвы и в других местах. Также проводилось обучение по обработке таких продуктов и получению срочных данных для дальнейшего решения об использовании этих продуктов.

Затем нашу группу направили в Белоруссию, в г. Минск в распоряжение Министерства здравоохранения республики, которое просило о консультационной помощи. Сам министр, Н.Е. Савченко, хирург по специальности, и служащие Министерства имели очень слабые представления о радиационном факторе и потому попросили провести несколько обучающих семинаров для медицинских служб города и республики, а также помочь в решении вопроса об отселении некоторых загрязненных населенных пунктов Белоруссии на границе с Украиной. После завершения работы (за ее проведение сам министр направил просьбу в МЗ СССР о награждении членов нашей группы

правительственными наградами, и в дальнейшем мы получили медали «За доблестный труд» и «За трудовую доблесть») мы вернулись в Институт и приступили к своим обязанностям. Однако через 1–2 недели автора вызвали в командировку в Москву в МЗ РСФСР для работы непосредственно в Департаменте радиационной гигиены санэпидуправления (руководитель – Г.С. Перминова, сотрудники – О.В. Липатова и Е.П. Соломатина). Я должна была получать ежедневные сводки – данные о радиоактивном состоянии объектов внешней среды (воздух, вода, почва, пищевые продукты) от всех имеющихся в РСФСР СЭС и составлять на основе этих данных обобщающие докладные министру здравоохранения о радиационной обстановке в республике. Через несколько дней, с согласия сотрудников Департамента и директора Института, в отдел приехали работать по этим вопросам С.Я. Сукальская (физик) и И.А. Звонова, кандидат биологических наук. Вместе мы составляли отчеты и ежедневно передавали их руководителю Департамента Г.С. Перминовой для отправки министру здравоохранения. Спустя месяц С.Я. Сукальская и И.А. Звонова рассчитали примерные средние дозы дополнительного облучения от чернобыльских загрязнений для людей по отдельным областям. Как ни странно, полученные величины практически не отличались от данных, представленных позже официальными учреждениями.

После 1,5 месяцев работы в Минздраве нас отпустили в Ленинград, где мы продолжили работать в Институте по своему плану.

Сотрудники Института в течение ряда лет направляли в командировки в загрязненные близлежащие и отдаленные территории РСФСР для проведения семинаров по вопросам радиационной безопасности с населением и медицинскими работниками.

Наш опыт может быть полезен при проведении семинаров по вопросам радиационной безопасности, для медицинских работников и населения, особенно в первое время или сразу после аварии.

Семинары для медицинских работников, как правило, проходили хотя и в спокойной, но в деловой обстановке. Отношение к ведущим семинара было скорее доброжелательным, медицинские работники интересовались многими деталями работы, проводимой с населением, а также особенностями поведения самих медиков.

Напротив, отношение отдельных групп населения, с которыми проводили разъясняющие семинары и в которых участвовало много матерей, было скорее негативным и иногда даже агрессивным. Вспоминаю один семинар в Новозыбкове летом 1986 г., в котором участвовали сотрудники нашего Института. Начинать его заведующий организационно-методическим отделом К.К. Поплавский. Он успел сказать только несколько фраз о сложившейся ситуации, а слушательницы своими криками фактически выгнали его с кафедры. Они обвиняли всех, в том числе медиков, что теперь у их детей будет рак щитовидной железы от радиоактивного йода в воздухе и молоке, а никакой защиты они не получили. Крик стоял такой, что трудно было даже понять, кто и что говорит. Но задачу, поставленную нам руководством Института, надо было выполнять. Дождавшись затихания криков, я со страхом ступила на кафедру и очень спокойным голосом стала говорить о том, что мы, ведущие семинара, не виноваты в случившейся аварии, наоборот,

мы приехали из чистого Ленинграда к ним, чтобы помочь. Мы здесь дышим тем же воздухом и питаемся теми же продуктами, что и они, ничего не брали с собой, а хотим разобраться в случившемся и оказать жителям посильную помощь. Должна признаться, что я, как и все приехавшие сотрудники, не понимала, почему только в одном районе (кажется, Новозыбковском) главный врач районной санэпидстанции в первый же день после аварии запретил выгул коров (только что вышедших на пастбища) и кормление их свежей травой, а также употребление молока жителями, в особенности детьми. Он также посоветовал дать детям с пищей небольшие дозы (несколько капель) настойки йода. Дело в том, что в Институте еще в 1969 г. были подготовлены методические указания для населения, проживающего вокруг АЭС, по вопросу защиты от радиоактивного йода (утверждены в 1971 г., разработаны Ю.О. Константиновым, Г.В. Архангельской под руководством Л.А. Ильина). В них предписывались дозы препарата йодида калия для перорального применения в случае аварии на АЭС – для детей различных возрастов и взрослых и время их применения. Данные эти были получены, в частности, автором (при работе над докторской диссертацией в 1969 г.) на персонале подводных лодок (матросы и офицеры), проходивших обследования в Военно-медицинской академии (кафедра военно-полевой терапии) в г. Ленинграде. Препарат йодида калия входил в неприкосновенный запас и должен был находиться в распоряжении сил гражданской обороны. Его работники в аварийных случаях должны были оперативно раздавать препарат населению – с помощью медработников на местах. Однако ни в одной санэпидстанции на территориях, считавшихся загрязненными или соседними с ними, таких методических указаний не увидели. Некоторые работники гражданской обороны и не слышали о своих обязанностях по защите населения от радиоактивного йода (см. указанную книгу Л.А. Ильина). Раздавать стабильный йод спустя неделю и больше после прохождения радиоактивного облака было уже поздно. Речь шла только о контроле содержания йода и других радионуклидов (Cs, Sr и др.) и возможности использования только «чистых» продуктов.

Еще одна встреча с последствиями аварии на Чернобыльской АЭС у автора произошла в начале 1988 г.,

когда мы вместе с моей сотрудницей Еленой Анищенко работали в населенных пунктах Новозыбков, Клинцы и Жуковка, куда были переселены жители из более радиоактивно загрязненных районов. Тогда впервые нам разрешили провести опрос жителей по разработанной нами анкете. В частности, население опрашивали о беспокойстве по поводу влияния радиации на их здоровье, желании переселиться, о том, когда они узнали об аварии, что предприняли сами и какие рекомендуемые защитные меры выполняют, кому доверяют в получении информации о радиации – официальным учреждениям, средствам массовой информации, специалистам и др. Результаты данного опроса были в дальнейшем дополнены опросом, проведенным в 1993 г. повторно по той же анкете, что позволило оценить динамику этих процессов. Повторные исследования в 1993 г. проводились уже с кандидатом медицинских наук Ириной Арменовной Зыковой, которая в начале 1993 г. перешла в лабораторию защиты, где я на тот момент работала.

Наряду с опросами, нами изучалось количество и качество публикаций в центральных и местных газетах по вопросам радиационной безопасности, анализировалось их содержание и полезность для населения.

С первого же опроса мы обратили внимание на тот факт, что большинство респондентов узнали об аварии только через 3–10 дней. Они в основном сильно преувеличивали уровни радиационной опасности по величине и степени влияния на здоровье. Это позволило ввести нам в употребление термин «Повышенная радиотревожность», который потом стал использоваться специалистами в области радиационной гигиены.

Нами было подготовлено около 10 методических указаний и рекомендаций по профилактике радиотревожности, по работе специалистов с врачами и другими группами населения по этой проблеме. Мы предложили ряд текстов к этим документам, позволяющих специалистам проводить обучающие семинары по вопросам радиационной безопасности, интересующим население. Также мы написали и издали в обществе «Знание» текст лекций о влиянии радиации на здоровье. Эти материалы несколько раз переиздавались.

Поступила: 15.07.2022 г.

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

Для цитирования: Г.В. Архангельская **Воспоминания об участии в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 124-127. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-124-127**

Memories of participation in the work to eliminate the consequences of the Chernobyl accident

Genrietta V. Arkhagelskaya

More than 36 years have passed since the accident at the Chernobyl nuclear power plant. During these years, a huge number of articles, books, films devoted to this human-made disaster have been published in scientific journals and mass media. The article presents the memoirs of the author – a participant in solving the problems that arose during the liquidation of the consequences of the accident. Specialists of the Institute of Radiation Hygiene worked in the contaminated territories of the Bryansk region, Belarus together with the sanitary and epidemiological service, conducted training seminars for various groups of the public in order to educate and teach the rules of behavior in the current situation. Specialists of the Institute compiled reports on the radiation situation based on data from all sanitary and epidemiological services in the Russian Soviet Federative Socialist Republic on the radioactive state of environmental objects. Based on scientific data, Methodological guidelines and recommendations on the prevention of radiation anxiety, on the work of specialists with medical doctors and other group of population were prepared. Texts of lectures on the effects of radiation on health were written and published in the Znanie society.

Key words: *accident, Chernobyl NPP, protective measures, radiation protection of the population, contaminated areas, radiometry, decontamination, sanitary and epidemiological stations, training seminars.*

For correspondence: Genrietta V. Arkhagelskaya – 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 (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: E-mail: henryark@mail.ru)

For citation: Arkhagelskaya G.V. Memories of participation in the work to eliminate the consequences of the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 124-127. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-124-127

Genrietta V. Arkhagelskaya

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

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

Правила для авторов журнала «Радиационная гигиена»

Правила для авторов составлены на основе «Белой книги Совета научных редакторов о соблюдении принципов целостности публикаций в научных журналах, 2012» (CSE's White Paper on Promotion Integrity in Scientific Journal Publications, 2012 Update) и «Рекомендаций по проведению, описанию, редактированию и публикации результатов научной работы в медицинских журналах, декабрь 2016» (ICMJE Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing and Publication of Scholarly Work in Medical Journals, December 2016).

Принимаются оригинальные научные статьи на русском и английском языках, соответствующие профилю журнала «Радиационная гигиена» и отражающие результаты оригинальных научных исследований авторов, экспериментальные, теоретические статьи, обзоры, краткие сообщения, дискуссионные статьи, рецензии на работы по актуальным вопросам радиационной гигиены, писем в редакцию.

Работы для опубликования в журнале должны быть представлены в соответствии с данными требованиями:

- К опубликованию в журнале принимаются статьи на русском и английском языках. Если статья представлена на английском языке, обязательно нужно полностью дублировать ее и на русском языке. Обращаем Ваше внимание на качество английского текста!

- Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованы в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

- Редакция имеет право вести переговоры с авторами по уточнению, изменению, сокращению рукописи.

- Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать представленные работы. Все статьи, поступающие в редакцию журнала, проходят двойное слепое рецензирование.

- Статья должна сопровождаться официальным направлением учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы. Должно быть представлено экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи. Статья должна быть подписана всеми авторами. Все соавторы должны быть согласны с публикацией текущей версии статьи

- Рукописи, оформленные не в соответствии с правилами, к дальнейшему рассмотрению не допускаются.

- Объем обзорных аналитических, исторических статей не должен превышать 40 страниц

- машинописного текста; оригинальных исследований – 25 страниц, дискуссионных статей – 10, кратких сообщений и заметок из практики – 10 страниц.

- Текст статьи печатается на одной стороне листа формата А4 шрифтом Times New Roman кеглем 14, с межстрочным интервалом 1,5. Ориентация книжная (портрет) с полями слева – 2,5 см, сверху – 2 см, справа – 1,5 см, снизу – 2 см. Нумерация страниц – сверху в центре, первая страница без номера. Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

СТРУКТУРА СТАТЬИ

Титульный лист должен содержать:

- **название статьи** должно кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В него необходимо вложить как информативность, так и привлекательность, уникальность научного творчества автора. Не допускается использование сокращений и аббревиатур, а также торговых (коммерческих) названий приборов, медицинской аппаратуры и т.п.);

Приводится на русском и английском языках.

- **фамилия и инициалы автора(ов);**

- любые изменения в списке авторов после подачи статьи в редакцию должны быть одобрены всеми авторами.

Фамилии авторов нужно транслитерировать по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru.

- **наименование учреждений**, в которых работают авторы с указанием ведомственной принадлежности (Роспотребнадзор, Минздрав России, РАМН и т.п.), город, страна (при этом префиксы учреждений, указывающие на форму собственности, статус организации (ГУ ВПО, ФГБУ, ФБУН и т.д.) не указываются);

- рядом с фамилией автора(ов) и названием учреждения цифрами в верхнем регистре обозначается, в каком учреждении работает каждый из авторов. Если все авторы работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно;

- вся информация предоставляется на русском и английском языках. **Указывается официально принятый английский вариант наименования организаций!**

- **Резюме.** После титульного листа размещается резюме статьи на русском и английском языках (объемом не менее 250 слов каждая). Резюме выполняет функцию расширенного названия статьи и повествует о ее содержании. В резюме следует излагать только релевантную информацию.

В нем должны быть четко обозначены следующие составные части:

- 1) Введение (Introduction): ставится научная проблема и цель статьи.

- 2) Материалы и методы (Materials and Methods): даются сведения об объекте и последовательности выполнения исследования.

- 3) Результаты исследования (Results): приводятся конкретные авторские результаты исследования.

- 4) Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion): указываются практическая значимость и перспективы исследования.

Все пишется сплошным текстом, без выделения абзацев. Для остальных статей (обзор, лекция, дискуссия) резюме должно включать краткое изложение основной концепции статьи, по сути краткое изложение самой статьи. **Резюме не должно содержать аббревиатур и сокращений, кроме общепринятых в мировой научной литературе.** Резюме является независимым от статьи источником информации для размещения в различных научных базах данных. **Обращаем особое внимание на качество английской версии резюме!** Оно будет опубликовано отдельно от основного текста статьи и должно быть понятным без ссылки на саму публикацию.

В конце приводятся **ключевые слова или словосочетания на русском и английском языках** (не более 12) в порядке значимости. **Ключевые слова также не должны содержать аббревиатур и сокращений. Ключевые слова** являются поисковым образом научной статьи. Во всех библиографических базах данных возможен поиск статей по ключевым словам. В связи с этим они должны отражать основные положения, достижения, результаты, терминологию научного исследования.

Текст статьи

Текст оригинального научного исследования должен состоять из выделяемых заголовками разделов: «Введение», «Цель исследования», «Задачи исследования», «Материалы и методы», «Результаты исследования», «Обсуждение и заключение», «Литература».

Введение (Introduction) – постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности. Во введении должна содержаться информация, которая позволит читателю понять и оценить результаты исследования, представленного в статье. При его написании автор прежде всего должен заявить общую тему исследования, обозначить проблемы, не решенные в предыдущих исследованиях, которые призвана решить данная статья. Кроме того, в нем выражается главная идея публикации, которая существенно отличается от современных представлений о проблеме, дополняет или углубляет уже известные подходы к ней; обращается внимание на введение в научное обращение новых фактов, выводов, рекомендаций, закономерностей. Цель статьи вытекает из постановки научной проблемы. Обзор литературы. Необходимо описать основные современные исследования и публикации, на которые опирается автор; современные взгляды на проблему; трудности при разработке данной темы; выделение нерешенных вопросов в пределах общей проблемы, которым посвящена статья. Желательно рассмотреть 20–40 источников и сравнить взгляды авторов; часть источников должна быть англоязычной. Важно провести сравнительный анализ с зарубежными публикациями по заявленной проблематике.

В разделе «*Материалы и методы*» (*Materials and Methods*) должны быть четко описаны методы и объекты исследования, источники и вид ионизирующего излучения, дозы, мощность дозы, условия облучения и т.д.

Если в статье имеется описание наблюдений на человеке, не используйте фамилии, инициалы больных или номера историй болезни, особенно на рисунках или фотографиях. При изложении экспериментов на животных укажите, соответствовало ли содержание и использование лабораторных животных правилам, принятым в учреждении, рекомендациям национального совета по исследованиям, национальным законам.

Все радиационные единицы следует приводить в международной системе единиц измерения (СИ) (см.: ГОСТ – 8.417 – 81 ГСИ. Единицы физических величин»; В.И. Иванов В.П. Машкович, Э.М. Центр. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное

руководство. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.). Все результаты измерений, приводимых в статье, должны быть выражены только в системе СИ.

При описании методики исследования можно ограничиться указанием на существо применяемого метода со ссылкой

на источник заимствования, в случае модификации – указать, в чем конкретно она заключается. Оригинальный метод должен быть описан полностью.

Результаты (Results). В этой части статьи должен быть представлен систематизированный авторский аналитический и статистический материал. Результаты проведенного исследования необходимо описывать достаточно полно, чтобы читатель мог проследить его этапы и оценить обоснованность сделанных автором выводов. Это основной раздел, цель которого – доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты при необходимости подтверждаются иллюстрациями (таблицами, графиками, рисунками), которые представляют исходный материал или доказательства в свернутом виде. Важно, чтобы проиллюстрированная информация не дублировала уже приведенную в тексте. Представленные в статье результаты желательно сопоставить с предыдущими работами в этой области, как автора, так и других исследователей. Такое сравнение дополнительно раскроет новизну проведенной работы, придаст ей объективности. Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Также должно быть обосновано, почему для анализа были выбраны именно эти данные. Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в резюме), необходимо давать их полное наименование и сокращение в скобках, в последующем применять только сокращение, однако их применение должно быть сведено к минимуму. Сокращение проводится по ключевым буквам слов в русском написании, например: источник ионизирующего излучения (ИИИ) и т. д. Тип приборов, установок следует вводить на языке оригинала, в кавычках; с указанием (в скобках) страны-производителя. Например: использовали спектрофотометр «СФ16» (Россия), спектрофлуориметр фирмы «Hitachi» (Япония). Малоупотребительные и узкоспециальные термины также должны быть расшифрованы.

Таблицы

Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст сразу после ссылки на нее. Следует уточнить, какие параметры статистической вариабельности оценивались, например, стандартное отклонение или стандартная ошибка среднего. Не следует дублировать данные, содержащиеся в таблице, в тексте статьи, в графиках или диаграммах.

Рисунки

Иллюстрации должны быть четкие, контрастные. Цифровые версии иллюстраций должны быть сохранены в отдельных файлах в формате Tiff, с разрешением 300 dpi и последовательно пронумерованы. Подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок. Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах.

Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion). Заключение содержит краткую формулировку результатов исследования. В нем в сжатом виде приводятся главные мысли основной части работы. Повторы излагаемого материала лучше оформлять новыми фразами, отличающимися от высказанных в основной части статьи. В этом разделе необходимо сопоставить полученные результаты с обозначенной в начале работы целью. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.

- В конце статьи должны быть размещены следующие данные:

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей. Наш журнал придерживается следующих критериев авторства, разработанных ICMJE и COPE:

- существенный вклад в разработку концепции или дизайна исследования; или сбор, анализ или интерпретация данных;

- написание текста статьи или ее редактирование для важного интеллектуального содержания;

- утверждение окончательного варианта статьи для публикации;

- согласие нести ответственность за все аспекты статьи, обеспечивая надлежащее расследование и решение вопросов, связанных с точностью или целостностью любой части работы;

- иное.

Приводятся на русском и английском языках.

Благодарности. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам. *Приводятся на русском и английском языках.*

Информация о конфликте интересов. В статье следует указать на реальный или потенциальный конфликт интересов. Если конфликта интересов нет, то следует написать, что автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Приводится на русском и английском языках.

Сведения об источнике финансирования.

Приводятся на русском и английском языках.

Список литературы

Рекомендуемое количество литературных источников: для оригинальных научных статей – не менее 25 источников, для лекций и обзоров – не более 60 источников, для других статей – не более 15 источников.

Ответственность за правильность изложения библиографических данных возлагается на автора.

В журнале используется Ванкуверский формат цитирования, который подразумевает ссылку на источник литературы в квадратных скобках и последующее упоминание источников в списке литературы и в порядке упоминания в тексте.

Прилагаются **два списка литературы.**

В первом списке литературы (Литература) библиографическое описание литературных источников должно соответствовать требованиям ГОСТа Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Необходимо правильно оформить ссылку на источник. Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет. Интересующийся читатель должен иметь возможность найти указанный литературный источник в максимально сжатые сроки. Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они приняты к печати. Информация из неопубликованных источников должна быть отмечена словами «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение на использование таких материалов.

В списке литературы не следует указывать постановления, законы, санитарные нормы и правила, другие нормативно-методические документы. Указания на них следует размещать в сносках или внутритекстовых ссылках. Сноски и внутритекстовые ссылки следует представить и на английском языке, написав после английского описания язык текста (In Russ.).

Примеры внутритекстовых ссылок:

.....согласно Норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [перевод на английский язык (In Russ.)]. Илисогласно ГОСТ Р 5177212001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования [перевод на английский язык (In Russ.)].

Подстрочные ссылки (сноски):

¹ СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [Sanitary Regulations and Standards 2.2.4.3359-16 «Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace» (In Russ.)]

¹ МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [Methodical guidelines 2.6.1.2944-11 “Control of the patient effective doses from medical X-ray examinations”. Moscow, Rospotrebnadzor, 2011, 40 p. (In Russ.)]

ПРИМЕРЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

Если имеется 3–4 автора, то указываются все. Если от 5 и больше – первые 3 автора, затем ставится «и др.».

Если в **монографии** на обложке указаны основные авторы, их всех следует указать, далее поставив «и др.».

Книги и брошюры:

Сергеев И.В., Смирнова Т.П., Исаков М.Н. Лучевая диагностика в России. СПб.: НИИРГ, 2007. 123 с.

Jenkins P.F. Making sense of the chest xray: a handson guide. New York: Oxford University Press; 2005. 194 p.

Iverson C., Flanagan A., Fontanarosa P.B. et al. American Medical Association manual of style. 9th ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1998. 660 p.

Многотомные издания или на часть книги:

Пивинский Ю.Е. Общие вопросы технологии // Неформальные огнеупоры. М., 2003. Т. 1, кн. 1. С. 430-447.

Глава или раздел из книги:

Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Основы общей патофизиологии // Основы общей патологии: учеб. пособие для студентов медвузов. СПб.: ЭЛБИ, 1999. Ч. 1., гл. 2. С. 124-169.

Riffenburgh R.H. Statistics in medicine. 2nd ed. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Academic Press; 2006. Chapter 24, Regression and correlation methods; p. 447-86.

Ettinger S.J., Feldman E.C. Textbook of veterinary medicine: diseases of the dog and cat. 6th ed. St. Louis (MO): Elsevier Saunders; 2005. Section 7, Dietary considerations of systemic problems; p. 553-98.

Статьи из журнала, сборника:

Стамат И.П., Стамат Д.И. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах // Радиационная гигиена. 2009. Т. 2, № 1. С. 46-52.

Bailliff I.K., Slim H.A. Development of reference database for gamma dose assessment in retrospective luminescence dosimetry // Radiation Measurements. 2008. Vol. 43. P. 859-863.

Из сборника конференций (тезисы):

Кушинников С.И., Цапалов А.А. Проблемы достоверности оценки среднегодовой ЭРОА радона при радиационно-гигиеническом обследовании помещений. Сборник докладов и тезисов науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы обеспечения радиационной безопасности на территории Российской Федерации», Москва, 25-26 октября 2007. М., 2007. С. 50-51.

Ссылки на Интернет-ресурсы:

Официальный сайт Медицинского радиологического научного центра РАМН (МРНЦ РАМН). URL: <http://www.mrrc.obninsk/> (дата обращения: 19.02.2010).

Дубнер П.Н. Англо-русский статистический глоссарий: основные понятия/ URL: <http://masters.donntu.org/2002/fvti/spivak/library/book2/book2.htm> (дата обращения: 16.06.2019)

Ссылки на статьи с DOI:

Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Зеликман М.И. и др. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии. REJR. 2018. Т.8, №3. С. 60-73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.

Статьи, принятые к печати, но еще не вышедшие:

Горский Г.А., Еремин А.В., Стамат И.П. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции. Радиационная гигиена, 2010. Т. 3, № 1. Деп. 10.02.2010 г.

Патенты:

Карамуллин М.А., Шутко А.Н., Союкин А.Е. и др. Пат. № 2268031 Российская Федерация, МПК А61Н23.00. Способ коррекции отдаленных последствий радиационного воздействия в малых дозах. опубл. 20.01.2006, БИ № 02.

Из газеты:

Фомин Н.Ф., Иванович Ф.А., Веселов Е.И. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель. // Воен. врач, 1996. № 8 (1332) С. 5.

Диссертация и автореферат диссертации:

Фенухин В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона: дис.... канд. полит. наук: защищена 22.01.02: утв. 15.07.02. М., 2002. 215 с.

Кадука М.В. Роль грибов в формировании дозы внутреннего облучения населения после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Обнинск, 2001. 23 с.

Второй список литературы (References) полностью соответствует первому списку литературы. Оформляется также в соответствии с Ванкуверским форматом цитирования

При этом в библиографических источниках на русском языке фамилии и инициалы авторов должны быть транслитерированы. Название работы переводится на английский язык. Иностранные библиографические источники из первого списка полностью повторяются во втором списке. Более подробно правила представления литературных источников во втором списке представлены ниже.

Примеры:

Статья 1-6 авторов

Petitti DB, Crooks VC, Buckwalter JG, Chiu V. Blood pressure levels before dementia. Arch Neurol. 2005 Jan;62(1):112-6.

Статья 7 и более авторов (указываются первые 6 авторов, далее «, et al.»)

Hallal AH, Amortegui JD, Jeroukhimov IM, Casillas J, Schulman CI, Manning RJ, et al. Magnetic resonance cholangiopancreatography accurately detects common bile duct stones in resolving gallstone pancreatitis. J Am Coll Surg. 2005 Jun;200(6): 869-75.

Статья в электронном журнале

Errami M, Garner H. A tale of two citations. Nature. 2008;451(7177): 397-399. Available from: <http://www.nature.com/nature/journal/v451/n7177/full/451397a.html> [Accessed 20 January 2015].

Read B. Anti-cheating crusader vexes some professors. Chronicle of Higher Education. 2008;54(25). Available from: <http://global.factiva.com/> [Accessed 18 June 2015].

Статья в электронном журнале с DOI:

Kanneganti P, Harris JD, Brophy RH, Carey JL, Lattermann C, Flanigan DC. The effect of smoking on ligament and cartilage surgery in the knee: a systematic review. Am J Sports Med [Internet]. 2012 Dec;40(12): 2872-8. Available from: <http://ajs.sagepub.com/content/40/12/2872> DOI: 10.1177/0363546512458223 [Accessed 19 Feb 2013]

Книга (печатная)

Carlson BM. Human embryology and developmental biology. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2009. 541 p.

Книга (электронная)

Shreeve DF. Reactive attachment disorder: a case-based approach [Internet]. New York: Springer; 2012. 85 p. Available from: <http://ezproxy.lib.monash.edu.au/login?url=http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-1647-00363546512458223> [Accessed 2 Nov 2012]

Отчет официальной организации (государственный, ведомственный, пр.).

Rowe IL, Carson NE. Medical manpower in Victoria. East Bentleigh (AU): Monash University, Department of Community Practice; 1981. 35 p. Report No.: 4.

Leatherwood S. Whales, dolphins, and porpoises of the western North Atlantic. U.S. Dept. of Commerce. Report number: 63, 2001.

Веб-страница

Diabetes Australia. Diabetes globally [Internet]. Canberra ACT: Diabetes Australia. Available from: <http://www.diabetesaustralia.com.au/en/Understanding-Diabetes/DiabetesGlobally/> [Accessed Nov 5 2012].

European Space Agency. Rosetta: rendezvous with a comet. Available from: <http://rosetta.esa.int> [Accessed 15 June 2015].

Из сборника конференций (тезисы)

Wittke M. Design, construction, supervision and long-term behaviour of tunnels in swelling rock. In: Van Cotthem A, Charlier R, Thimus J-F, Tshibangu J-P. (eds.) Eurock 2006: multiphysics coupling and long term behaviour in rock mechanics: Proceedings of the International Symposium of the International Society for Rock Mechanics, EUROCK 2006, 9–12 May 2006, Liège, Belgium. London: Taylor & Francis; 2006. P. 211–216.

Стандарт

British Standards Institution. BS EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Structural fire design. London: BSI; 2005.

Методические рекомендации/руководство

National Institute for Health and Care Excellence (NICE), Tuberculosis: NICE Guideline [NG33]. 2016. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng33/resources/tuberculosis-1837390683589> [Accessed 27 May 2017].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

После списков литературы указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью) на русском языке и в транслитерации; ученая степень, ученое звание, должность в учреждении/учреждениях, рабочий адрес с почтовым индексом на русском и английском языках, рабочий телефон и адрес электронной почты всех авторов, идентификационный номер ORCID. Сокращения не допускаются.

ПОРЯДОК ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В РЕДАКЦИЮ

Все статьи печатаются в журнале бесплатно.

Направляя статью для публикации в данном журнале, авторы соглашаются со следующим:

- Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0) которая позволяет другим распространять данную работу с обязательным сохранением ссылок на авторов оригинальной работы и оригинальную публикацию в этом журнале.

- Все авторы внимательно прочитали Этику научных публикаций журнала и с пониманием воспримут санкции за его нарушение.

- Авторы статьи принимают положения: «Авторское соглашение (публичная оферта) о публикации статьи в научном журнале «Радиационная гигиена».

- Согласно вступившей в действие IV части Гражданского кодекса РФ, между авторами статей и редакцией журнала заключается **Лицензионный договор (оферта) о предоставлении права использования произведения** издателю.

Основным способом подачи рукописи статьи в редакцию является отправка по электронной почте журнала в форме присоединенных файлов: journal@niirg.ru

При подаче рукописи должны быть загружены следующие файлы:

1. Текст рукописи (титальный лист, структурированное резюме, ключевые слова, текст статьи, полные данные об авторах, необходимые для обработки в Российском индексе научного цитирования, сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования, список литературы). На английском языке представляется следующая информация: название статьи, транслитерация фамилий авторов в латинском варианте по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru, название организации с указанием города, страны; структурированное резюме и ключевые слова; сведения об авторах в том же объеме, как на русском; сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования; список литературы – References). Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

2. Иллюстрации в отдельных файлах в формате Tiff, JPEG с разрешением 300 dpi. При отправке файла обязательно укажите номер рисунка, соответствующий его номеру в статье.

3. Лицензионный договор о предоставлении права использования произведения издателю. Электронный вариант заполненного и подписанного всеми авторами договора следует отправить в качестве дополнительного файла в формате .pdf.

4. Официальное направление учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы в формате .pdf.

5. Экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи в формате .pdf.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ И ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

В случае обнаружения недобросовестного поведения со стороны автора, плагиата, фабрикация или фальсификация данных редакция руководствуется правилами COPE. Под недобросовестным поведением мы понимаем любые действия ученого, включающие ненадлежащее обращение с объектами изучения или намеренное манипулирование научной информацией, при котором она перестает отражать наблюдаемые исследования; а также поведение ученого, которое не соответствует принятым этическим и научным стандартам.

К недобросовестному поведению журнал «Радиационная гигиена» не относит честные ошибки или честные расхождения в плане, проведении, интерпретации или оценке исследовательских методов или результатов или недобросовестное поведение, не связанное с научным процессом.

Справки по телефону: (812)2334283 и (812)2335016 (редакция журнала «Радиационная гигиена»). Факс: (812)2335363, 2334283.