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

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

ТОМ 18 № 3, 2025

Санкт-Петербургский НИИРГ

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

УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ:

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.

По условиям лицензии Creative Commons право на оригинал-макет и оформление принадлежит журналу, авторское право на статьи принадлежит авторам. Ссылка на журнал **«РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА»** обязательна.

Целью журнала является создание широкодоступного информационного поля для всех специалистов, связанных с радиационной гигиеной и обеспечением радиационной безопасности населения, расширение сферы профессионального диалога для российских и зарубежных исследователей, работающих в этих и смежных областях науки.

Задачи журнала:
– привлекать внимание к наиболее актуальным, перспективным и интересным направлениям научных исследований по тематике журнала;
– вовлекать в журнал авторитетных отечественных и зарубежных авторов, являющихся специалистами высочайшего уровня;
– расширять деятельность путем повышения географического охвата публикуемых материалов, редакционного совета и редакционной коллегии, в том числе из зарубежных стран.

Ответственный секретарь редакции
О.О. Пантина
Компьютерная верстка
О.С. Кравцовой

Статьи в открытом доступе находятся
по адресу https://www.elibrary.ru
и по адресу https://www.radhyg.ru/jour

Адрес учредителя, издателя и 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

Журнал распространяется по подписке
Индекс для подписки в агентстве
«Книга-Сервис» - **Ф57988**
Цена номера – 980 руб.

Формат 60x84/8. Печать офсетная. 18 печ.л.

Выход в свет: 30.09.2025

Тираж 150 экз.
Отпечатано в типографии ООО «Амирит»
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У

©«Радиационная гигиена», 2025

РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА

Научно-практический журнал

Основан в 2007 году и является первым и единственным в Российской Федерации специализированным периодическим изданием по вопросам радиационной гигиены и радиационной безопасности населения

Издается ежеквартально.

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) .
Представлен на платформах агрегаторов elibrary.ru, RUSED, Google Schcolar, Dimension, DOAJ (Directory of Open Access Juornals), VINITI RAN, РГБ и др. (https:// www.radhyg.ru/jour)

Санкт-Петербургский НИИРГ

Том 18 № 3, 2025

Том 18 № 3, 2025

Председатель редакционного совета

Онищенко Геннадий Григорьевич — Российская академия образования, заместитель президента, д.м.н., профессор, академик РАН (Москва, Российская Федерация)

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Редакционный совет

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

Башкетова Наталия Семеновна — Межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу и Ленинградской области (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Бузинов Роман Вячеславович — ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», д.м.н., доцент, заслуженный врач Российской Федерации (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

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

Иванов Виктор Константинович — Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр имени П.А. Герцена» Минздрава России», член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор (Обнинск, 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, академик АН РТ, д.х.н., профессор (Душанбе, Республика Таджикистан)

Попов Валерий Иванович — ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, член-корреспондент РАН, д.м.н., профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (Воронеж, Российская Федерация)

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

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

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

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

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

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

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

Гребенюк Александр Николаевич — ФГБОУ ВО ПСПбГМУ им. И.П. Павлова Минздрава России, д.м.н., профессор (Санкт- Петербург, Российская Федерация)

Ермолина Елена Павловна — ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Минздрава России, 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 Ссорен — 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 — ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», член-корреспондент РАН, д.б.н., профессор (Обнинск, Российская Федерация)

Тахауов Равиль Манихович — ФГБУН «Северский биофизический научный центр» Федерального медико-биологического агентства, д.м.н., профессор (Северск, 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 & PUBLISHER
Federal budgetary institution of science «Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing

The publication is registered by the Federal Service for Supervision over Compliance with Legislation in the Sphere of Mass Communications and Protection of Cultural Heritage. Registration certificate PI № FS77-28716 of July 6, 2007.
The journal is registered as an online edition by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies and Mass Communications. Registration certificate EL No. FS77-63702 was issued on November 10, 2015.

The aim of the Journal is to create a widely accessible information field for all specialists related to radiation hygiene and radiation safety of the population, to expand the sphere of professional dialog for Russian and foreign researchers working in these and related fields of science.

Objectives:
– to attract attention to the most relevant, promising and interesting areas of scientific research on the subject of the journal;
– to involve authoritative national and foreign authors, who are specialists of the highest level, to form a platform in the journal
– to strictly follow the principles of research and publication ethics, as well as open access to the content of the journal;
–to expand its publishing activities by increasing the geographical coverage of published materials, editorial board and editorial board, including international contributions.

Editorial Secretary
O.O. Pantina
Computer Layout
O.S. Kravtsova

Open Access articles are available
at https://www.elibrary.ru
and at https://www. radhyg.ru/jour

Under the terms of Creative Commons license the right to the original layout and design belongs to the journal, the copyright to the articles belongs to the authors. Reference to the journal " **Radiation Hygiene**" is obligatory.

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

The journal is distributed by subscription
Index for subscription in the agency
"Book-Service" - F57988.
The price of an issue - 980 rubles.

Format: 60x84/8.
Offset printing. 18 printed sheets.
Publication date: 30.09.2025
Circulation: 150 copies

Printed at Amirit LLC Printing House
410004, Saratov, Chernyshevsky St., Bldg. 88, Litera U

RADIATION HYGIENE

Quarterly peer-reviewed scientific and practical journal

The Journal was founded in 2007 and is the first and only specialized periodical on issues of radiation hygiene and radiation safety of the population.

The Journal is included in the list of Russian peer-reviewed journals, in which the main scientific results for the degree of candidate and doctor of sciences should be published.
The journal is indexed in the multidisciplinary bibliographic and abstract database Scopus, Russian Index of Citation (RINC).
It is represented on the platforms of aggregators elibrary.ru, RUSMED, Google Schcolar, Dimensions, DOAJ (Directory of Open Access Juornals), VINITI RAN, RGV, etc. (https://www.radhyg.ru/jour)

Санкт-Петербургский НИИРГ

Vol. 18 № 3, 2025

RADIATION HYGIENE

Vol. 18 № 3, 2025

Chairman of Editorial Council

Gennadiy G.Onishchenko — Russian Academy of Education, Deputy President, Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D. Professor (Moscow, Russian Federation)

Editor-in-Chief

Ivan K.Romanovich — Saint Petersburg 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, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, M.D., Professor (Saint Petersburg, Russian Federation)

Nataliya S. Bashketova — Interregional Department of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing for the city of St. Petersburg and the Leningrad Region (Saint Petersburg, Russian Federation)

Roman V. Buzinov — Federal Budgetary Scientific Facility "North-West Public Health Research Center", M.D., Docent, Honoured Doctor of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russian Federation)

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

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", Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor (Obninsk, Russian Federation)

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

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

Valeriy I. Popov — Federal State-Financed Educational Institution of Graduate Education "Voronezh N.N. Burdenko State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences , M.D., Professor, Honoured Worker of Higher Education of the Russian Federation (Voronezh, Russian Federation)

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

Genrikh A. Sofronov — Federal State Scientific Organization "Institute of Experimental Medicine", Academician of the Russian Academy of Sciences, M.D., Professor (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, M.D., Professor, Honoured Doctor of the Russian Federation, Medical Major General of the Reserve (Moscow, Russian Federation)

Editorial Board

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

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

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

Aleksandr V. Vodovatov — Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Biological Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation)

Grigoriy A. Gorskiy — Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Candidate of Medical Sciences (Saint Petersburg, Russian Federation)

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

Aleksandr N. Grebenyuk— Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pavlov First Saint Petersburg State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 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 Medical Sciences, Associate Professor (Moscow, Russian Federation)

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

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

Mattsson Lars Juhan Sören — Professor at Department of Medical Radiation Physics, Lund University (Malmo, Sweden)

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

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

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

Natalya I. Sanzharova — Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor (Obninsk, Russian Federation)

Ravil M. Takhauov — Seversk Biophysical Research Center of the Federal Medical-Biological Agency, M.D., Professor (Seversk, 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 18 № 3, 2025

CONTENTS

Vol. 18 № 3, 2025

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Блинова Е.А., Кореченкова А.В., Аклеев А.В.

Роль генетического полиморфизма в риске развитии злокачественных новообразований у людей, подвергшихся хроническому радиационному воздействию **7**

Чипига Л.А., Милованова Е.К., Звонова И.А., Водоватов А.В., Важенина Д.А., Станжевский А.А.

Оценка доз облучения в плоде при проведении радионуклидной диагностики беременным **18**

Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э.

Злокачественные новообразования центральной нервной системы у персонала ПО «Маяк» **29**

Ахмадуллина Ю.Р., Кривощапова Я.В.

Динамика частоты нестабильных хромосомных обменов в лимфоцитах у жителей Уральского региона, подвергшихся хроническому радиационному воздействию **36**

RESEARCH ARTICLES

Blinova E.A., Korechenkova A.V., Akleyev A.V.

Contribution of the genetic polymorphisms to cancer risk in chronically exposed individuals **16**

Chipiga L.A., Milovanova E.K., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Vazhenina D.A., Stanzhevsky A.A.

Fetus doses from radionuclide diagnostic of pregnant patients **27**

Denisova E.V., Kuznetsova I.S., Sokolnikov M.E.

Malignant neoplasms of the central nervous system of the PA Mayak personnel **34**

Akhmadullina Yu.R., Krivoshchapova Ya.V.

Dynamics of the frequency of unstable chromosome exchanges in lymphocytes of chronically exposed residents of the Ural region **44**

ОБЗОРЫ

Водоватов А.В., Чипига Л.А., Косарлукова Е.А., Библин А.М., Вишнякова Н.М.

Медицинское диагностическое облучение в Российской Федерации: проблемы регулирования и предложения по их решению **46**

Водоватов А.В., Косарлукова Е.А., Библин А.М., Ахматдинов Р.Р., Вишнякова Н.М.

Проблемы верификации сведений о дозах медицинского облучения в формах № 3-ДОЗ и предложения по их решению **62**

REVIEWS

Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Kosarlukova E.A., Biblin A.M., Vishnyakova N.M.

Medical diagnostic exposure in the Russian Federation: regulatory problems and proposals for their solution **60**

Vodovatov A.V., Kosarlukova E.A., Biblin A.M., Akhmatdinov R.R., Vishnyakova N.M.

Problems of verification of information on medical exposure doses in Form No. 3-DOZ and suggestion for their solution **73**

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ

Шандала Н.К., Шитова А.А., Исаев Д.В., Бельских Ю.С., Титов А.В., Семенова М.П., Филонова А.А.

Оценка радиационного состояния территории и прибрежной акватории поселка Амдермы Ненецкого автономного округа **75**

RADIATION SAFETY DURING DECOMMISSIONING OF NUCLEAR LEGACY SITES

Shandala N.K., Shitova A.A., Isaev D.V., Belskikh Yu.S., Titov A.V., Semenova M.P., Filonova A.A.

Assessment of the radiation condition of the territory and the Coastal water area of the Amderma settlement of Nenets Autonomous Okrug **83**

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Водоватов А.В., Горский Г.А., Чипига Л.А., Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Лихачева А.В., Вишнякова Н.М.

Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии **85**

Чипига Л.А., Горский Г.А., Водоватов А.В., Лихачева А.В., Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Вишнякова Н.М.

Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики и терапии **95**

NORMATIVE AND METHODOLOGICAL DOCUMENTATION

Vodovatov A.V., Gorsky G.A., Chipiga L.A., Likhacheva A.V., Shatsky I.G., Druzhinina P.S., Vishnyakova N.M.

Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in X-ray diagnostics and therapy **93**

Chipiga L.A., Gorsky G.A., Vodovatov A.V., Likhacheva A.V., Shatsky I.G., Druzhinina P.S., Vishnyakova N.M.

Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in radionuclide diagnostics and therapy **102**

СОДЕРЖАНИЕ

Том 18 № 3, 2025

CONTENTS

Vol. 18 № 3, 2025

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Тряпицына С.В., Кравцова О.С.

Оценка продолжительности реализации мероприятий по переселению жителей населенных пунктов бассейна реки Течи и территорий Восточно-Уральского радиоактивного следа 105

Репин Л.В., Библин А.М.

О разработке мобильного приложения для оценки радиационного риска, связанного с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований 112

РАДИАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Разин К.А., Варфоломеева К.В., Седнев К.А., Репин В.С., Зеленцова С.А.

Исследование возможностей детектора на основе кристалла бромида лантана для оценки удельной активности цезия-137 в глубоких слоях почвы 120

Рамзаев В.П., Барковский А.Н.

Использование портативного гамма-спектрометра для оценки уровней внешнего облучения пассажира метро 130

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА» 141

BRIEF REPORTS

Tryapitsyna S.V., Kravtsova O.S.

Duration of implementation of measures for relocation of residents of settlements of the Techa River basin and territories of the East Ural Radioactive Trace 110

Repin L.V., Biblin A.M.

Development of a mobile application for assessing radiation risk associated with medical X-ray radiological examinations 118

RADIATION MEASUREMENTS

Razin K.A., Varfolomeeva K.V., Sednev K.A., Repin V.S., Zelentsova S.A.

Study of the capabilities of a detector based on a lanthanium bromide crystal for assessing ^{137}Cs activity concentration in deep soil layers 127

Ramzaev V.P., Barkovsky A.N.

Using a portable gamma-ray spectrometer to estimate the external exposure for a subway passenger 139

JOURNAL OF RADIATION HYGIENE – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 141

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-7-17
УДК: 614.876:616-006 (470.55)

Роль генетического полиморфизма в риске развитии злокачественных новообразований у людей, подвергшихся хроническому радиационному воздействию

Блинова Е.А., Кореченкова А.В., Аклеев А.В.

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

*Целью настоящего исследования являлась оценка вклада генетического фактора в риск развития злокачественных новообразований у лиц, подвергшихся низкоинтенсивному хроническому облучению на реке Теча. Материалы и методы: Исследование связи полиморфных локусов генов регуляции клеточного цикла и апоптоза с рисками развития злокачественных новообразований проводилось у 922 человек из Уральской когорты аварийно-облученного населения. Генотипирование полиморфных локусов проводили методом полимеразной цепной реакции «в реальном времени». Результаты исследования и обсуждение: Установлена связь с повышенным риском развития злокачественных новообразований аллелей rs2279744*C гена MDM2 и rs2279115*C гена BCL-2 (отношения шансов – 1,75; 95 % доверительный интервал [1,15–2,65]; p=0,008 и отношение шансов – 1,63; 95 % доверительный интервал [1,21–2,21]; p=0,001 соответственно). Выявлен однонуклеотидный полиморфизм, ассоциированный со сниженным риском развития злокачественных новообразований: аллель rs1801270*A гена CDKN1A (отношение шансов = 0,62; 95 % доверительный интервал [0,44–0,88]; p=0,007). При анализе фактора межгенных взаимодействий и поглощённой дозы облучения красного костного мозга определена наиболее значимая модель, включающая дозу облучения красного костного мозга, NFkB1 rs28362491, ATM rs664677, BCL2 rs2279115, MDM2 rs2279744 (воспроизводимость 10 из 10, точность 62 %; p=0,04), при этом наибольшей информационный вклад вносит полиморфизм rs2279744 гена MDM2 (2,43 %). Заключение: Однонуклеоидные полиморфизмы в генах, кодирующих ферменты клеточного цикла и клеточной гибели способны модифицировать риск развития рака.*

Ключевые слова: *полиморфизм, злокачественные новообразования, ионизирующее излучение, Теча, Южный Урал.*

Введение

Ответ организма на генотоксическое действие ионизирующего излучения зависит как от внутренних, так и внешних факторов. К экзогенным средовым факторам относятся доза облучения, мощность дозы, тип радиационного воздействия, распределение дозы в критическом объекте, а к эндогенным – физиологические характеристики и генетические особенности [1].

Человеческая популяция генетически неоднородна, в основе ее разнообразия лежат полиморфизмы генов. Они определяют внутривидовые различия, которые могут проявляться не только в конкретном признаке, но и в эффективности функционирования защитных систем организма, например, регуляция клеточного цикла и клеточной гибели. Нарушения или несостоятельность процессов элиминации поврежденных клеток, обусловленные генетическим полиморфизмом, могут запускать каскад реакций, приводящий к нестабильности генома и онкогенной трансформации клетки.

Большой массив исследований генетических факторов, модифицирующих риск развития злокачественных новообразований (ЗНО), основан на изучении роли однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП) [2, 3, 4]. Имеются данные, свидетельствующие о том, что ОНП в генах, участвующих в ответе на радиационное воздействие, ассоциированы как с повышенным риском развития рака, так и с клеточной реакцией на облучение. Например, полиморфные участки в генах, кодирующих ферменты системы репарации путем негомологичного соединения концов ДНК (rs2267437 *XRCC5* и rs3835 *XRCC6*), ассоциированы с повышенным риском развития рака молочной железы и с хромосомной радиочувствительностью *in vitro*, оценённой по показателю микроядер [5]. Установлена корреляция между полиморфизмом *TP53* Arg72Pro (rs1042522) и вероятностью развития радон-индуцированного рака легкого (ОШ = 8,6; 95 % ДИ [2,6–28,59]) в казахской популяции людей, подвергшихся воздействию радона [6].

Ранее нами также было показано, что в популяции людей, подвергшихся низкоинтенсивному радиационному воздействию в широком диапазоне доз в результате многолетних сбросов жидких радиоактивных отходов в реку Течу и радиационной аварии 1957 года, полиморфизмы в генах репарации ассоциированы с повышенным риском развития ЗНО. В частности, rs1052133 гена эксцизионной репарации *OGG1* (ОШ= 1,38, 95 % ДИ [1,05–1,83], p=0,02), rs25487 гена репарации одноцепочечных разрывов ДНК *XRCC1* (ОШ=1,79, 95 % ДИ [1,12–2,87], p=0,01) [7,8]. Кроме того, у подвергшихся облучению лиц из тюркской этнической группы аллель rs2279744*C гена *MDM2* ассоциирован с повышенным риском развития ЗНО (ОШ = 2,29; 95 % ДИ [1,23–4,28]; p = 0,007) [9].

Блинова Евгения Андреевна
Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики
Адрес для переписки: 456783, Россия, Челябинская область, Озерск, Озерское шоссе, д. 19; E-mail: blinova@urcrm.ru

Стоит заметить, что генетический фактор имеет большое значение при низкоинтенсивном хроническом радиационном воздействии в малых дозах, в отличие от облучения в больших дозах, где на первый план выходят эффекты, связанные с массовой клеточной гибелью и на которые индивидуальные особенности мало влияют.

Цель исследования – установление роли генетического полиморфизма в генах регуляции клеточного цикла и клеточной гибели (rs1042522, rs2279744, rs664677, rs1801270, rs4645878, rs2279115, rs1045485, rs361525, rs1053023, rs28362491, rs874881) в риске развития ЗНО у людей, подвергшихся хроническому радиационному воздействию.

Материалы и методы

Описание группы обследованных лиц

В ранее проведенных работах из обследованной группы облученных лиц исключались лица со значение поглощенной дозы облучения красного костного мозга (ККМ) менее 70 мГр за весь период жизни (интенсивность облучения не превышала 1 мГр/год, что соответствует фоновому уровню) [9]. В связи с тем, что наследование ОНП не зависит от средовых факторов, в настоящей работе для увеличения статистической мощности в исследуемую группу облученных лиц были включены люди, чья доза облучения не превышала 70 мГр. Для всех обследованных лиц была рассчитана индивидуальная поглощенная доза облучения ККМ с использованием дозиметрической системы «Techa River Dosimetry System» (TRDS-2016). Численность группы облученных с ЗНО составило 300 человек: из них 201 человек имели дозу облучения в диапазоне от 70 мГр до 3507 мГр (средняя доза облучения ККМ составила 739 ± 41 мГр) и 99 человек с дозой облучения от 1 до 67 мГр (средняя доза облучения ККМ составила 17,4 ± 1,8 мГр). Годы рождения обследованных лиц – с 1915 по 1960. Группа сравнения состояла из 622 облученных лиц без ЗНО и соответствовала по половому, национальному составу и дозам облучения ККМ.

Распределение аллелей и (или) генотипов может отличаться в разных этнических группах [10], а молекулярно-генетические исследования связи полиморфизмов с заболеваниями, полученные на одной этнической группе, не всегда совпадают с данными, полученными на других этнических группах. В связи с этим, в настоящем исследовании оценивалась связь ОНП с риском развития ЗНО как в объединенной группе, так и отдельно в славянской этнической группе и группе тюркит.

Характеристика обследованных лиц с ЗНО и группы сравнения представлена в таблице 1.

Структура заболеваемости ЗНО по локализациям в исследуемой группе для анализа ОНП представлена на рисунке 1.

Таблица 1

Характеристика обследованных лиц

[Table 1

Characteristics of the studied groups]

Характеристика группы [Characteristics of the group]		Облученные с ЗНО [Exposed with MNs] (N =300)	Облученные без ЗНО [Exposed without MNs] (N = 622)
Возраст на момент обследования, лет [Age at the time of the examination, years] [1]		74,8 ± 0,4 (52–95)	75,4± 0,3 (53–98)
Пол, количество (%) [Sex, persons (%)]	Мужчины [Men]	119 (39,6 %)	214 (34,4 %)
	Женщины [Women]	181 (60,4 %)	408 (65,6 %)
Этническая принадлежность, количество (%) [Ethnicity, persons (%)]	Славяне [Slavs]	141 (47 %)	290 (46,6 %)
	Тюркиты [Turkic peoples]	159 (53 %)	332 (53,4 %)
Поглощенная доза облучения красного костного мозга (ККМ), мГр [Absorbed dose to red bone marrow (RBM), mGy][2]		243 (1–3507)	377 (1–3394)

[1] Среднее значение ± ошибка среднего (мин.–макс.) [Mean ± Standard Error (Min-Max)].

[2] Медиана (минимум-максимум) [Median (Min-Max)].

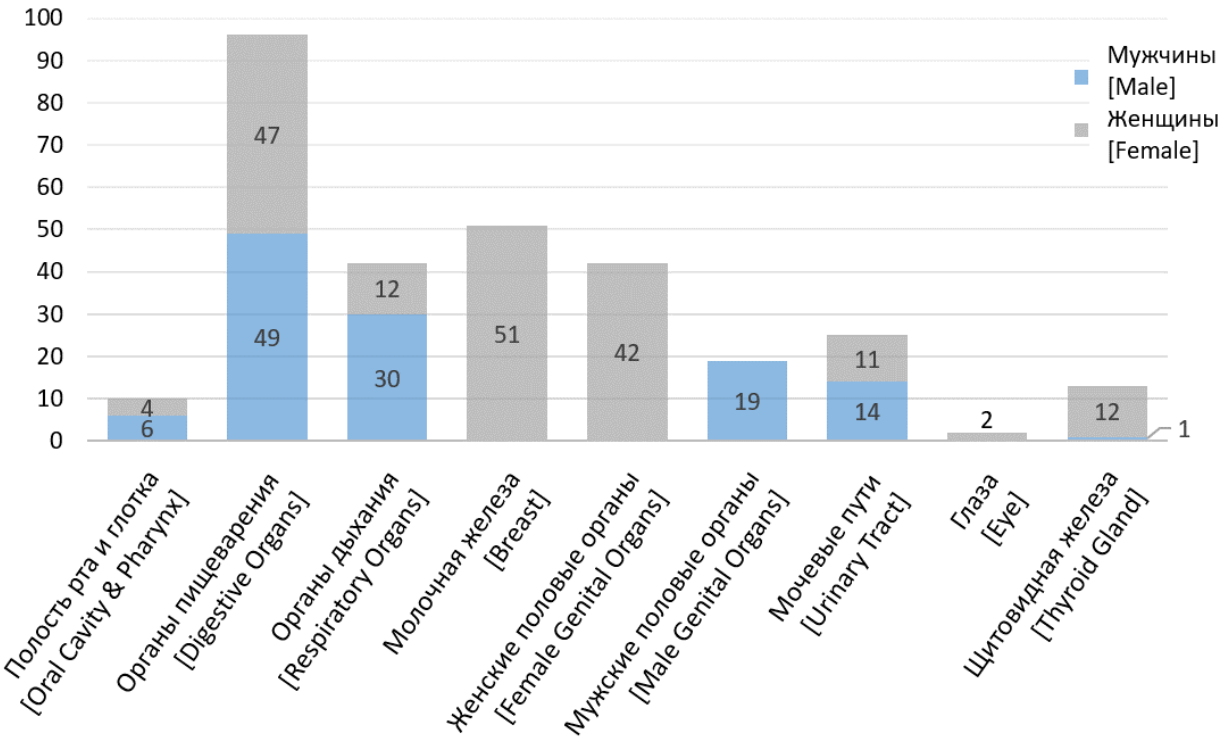


Рис. 1. Структура распределения ЗНО по локализациям у мужчин и женщин
[**Fig. 1.** Structure of cancer distribution by localization in men and women]

Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия на проведение исследования, утвержденную в составе протокола исследования этическим комитетом ФГБУН ЮУрФНКЦ МБ ФМБА России (ранее - ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России) (протокол № 2 от 13 апреля 2023 г.).

Методы исследования

Генотипирование полиморфных локусов rs1042522, rs2279744, rs664677, rs1801270, rs4645878, rs2279115, rs1045485, rs361525, rs1053023, rs28362491, rs874881 проводилось методом полимеразной цепной реакции в реальном времени на приборе «Applied Biosystems StepOnePlus» (США) с использованием наборов реагентов, включающих праймеры и зонды для генотипирования («ТестГен», Россия). Подробная характеристика праймеров ранее была представлена в публикациях [9, 11]. Амплификацию проводили согласно инструкции производителя к конкретному набору. В качестве отрицательного контроля использовалась деионизованная вода. Данные генотипирования анализировались с помощью программы «Step One Software» (Applied Biosystems, США) и были представлены в виде графика аллельной дискриминации.

Для генотипирования использовалась ДНК, выделенная из замороженных при -80°С образцов крови. Экстракция ДНК из цельной крови проводилась с использованием комплекта реагентов для выделения ДНК «ExtraPhen» (АТГ-Биотех, Россия). Количественную и качественную оценку образцов ДНК после экстракции проводили с помощью спектрофотометра NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, США).

Статистический анализ

Оценка связи ОНП с риском развитии ЗНО проводилась методом расчета отношения шансов (ОШ) и 95 % доверительного интервала (95 % ДИ) с применением онлайн-ресурса SNPStats[1]. Ассоциация ОНП с риском развитии ЗНО считалась статистически значимой при уровне значимости менее 1 % ($p < 0,01$) и на уровне тенденции – при значении p от 0,02 до 0,05.

Межгенные взаимодействия и связь с дозой облучения оценивали с помощью метода снижения многофакторной размерности с использованием программного обеспечения MDR 3.0.2 [12]. Для установления роли межгенных взаимодействий и дозы облучения все обследованные люди были распределены на несколько дозовых подгрупп по значению поглощённой дозы облучения ККМ: до 70 мГр, 70–200 мГр, 200–500 мГр; 500–1000 мГр и более 1000 мГр.

Учитывая разный характер влияния ОНП на риск развития ЗНО (протективный эффект и повышенный риск), было протестировано две модели:

[1] Веб-инструмент для анализа генетико-эпидемиологических исследований ассоциаций с использованием ОНП. URL: https://www.snpstats.net/start.htm. (Дата обращения: 20.05.2025) [A web tool for the analysis of genetic epidemiological association studies using SNPs. Available from: https://www.snpstats.net/start.htm. (Accessed on May 20, 2025)].

1) модель 1 включала дозу облучения ККМ и ОНП генов, *TNFa* rs361525, *STAT3* rs1053023, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *BCL2* rs2279115, *TP53* rs1042522, *MDM2* rs2279744;

2) модель 2 включала дозу облучения ККМ и ОНП генов, *TNFa* rs361525, *STAT3* rs1053023, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *TP53* rs1042522, *BAX* rs4645878, *CASP8* rs1045485, *PADI4* rs874881, *CDKN1A* rs1801270.

Наилучшая модель-кандидат для прогнозирования предрасположенности к развитию ЗНО среди моделей n-локусов определялась как модель с наименьшей ошибкой классификации. Критериями выбора окончательной модели-кандидата были максимальная согласованность перекрестной проверки и максимальная сбалансированная точность предсказания (значения от 0 до 1). Статистическая значимость лучшей модели-кандидата определялась с помощью теста 1000-кратной перестановки.

С использованием онлайн ресурса STRING v.2.0[2] был проведен биоинформатический анализ вовлеченности изученных генов и их белковых продуктов в реализацию сигнальных и метаболических путей в ответ на повреждения и клеточную гибель, на основе значений параметров: сигнала, характеризующего величину эффекта, позволяющего выделить наиболее важные биологические пути, в которые вовлечены гены; силы, показывающей отношение количества анализируемых генов в 1 метаболическом или сигнальном пути к общему количеству вовлеченных в него генов; коэффициента ложных открытий (FDR), характеризующего значимость обогащения с поправкой на множественные тестирования. Также был проведен анализ связи изученных генов с ЗНО на основе автоматического анализа текста биомедицинской литературы, аннотаций баз данных, доступных данных о мутациях и GWAS исследованиях (полногеномных исследований ассоциаций с заболеванием).

Результаты и обсуждение

Оценка ассоциации полиморфизмов в генах клеточного цикла и апоптоза с риском развития ЗНО различных локализаций

Ранее в группах облученных лиц с поглощённой дозой облучения ККМ более 70 мГр были получены результаты оценки связи исследуемых ОНП с риском развития ЗНО [9]. В настоящей работе проводилось исследование связи ОНП с риском развития ЗНО в расширенной группе обследованных лиц, включающих как обследованных лиц с поглощенной дозой облучения ККМ более 70 мГр, так и менее 70 мГр.

Согласно результатам исследования, представленным в таблице 2, в объединенной группе обследованных лиц в соответствии с доминантой моделью аллель rs2279744*C гена *MDM2* и аллель rs2279115*C гена *BCL-2* статистически значимо ассоциированы с повышенным риском развития ЗНО (ОШ = 1,75; ДИ 95 % 1,15–2,65; p=0,008 и ОШ = 1,63; ДИ 95 % 1,21–2,21; p=0,001 соответственно).

При анализе в разных этнических группах на уровне тенденции в группе тюркит наблюдается повышение риска развития ЗНО по полиморфному участку rs2279744 (*MDM2)* (ОШ = 1,82; ДИ 95 % 0,99–3,36; p=0,05), а для rs2279115 (*BCL-2)* сохраняется статистически значимая связь (ОШ = 1,72; ДИ 95 % 1,13–2,61; p=0,01). На уровне тенденции установлена связь аллеля rs361525*A гена *TNFα* с повышенным риском развития ЗНО (ОШ = 1,80; ДИ 95 % 1,11–2,92; p=0,02).

У обследованных лиц славянской этнической принадлежности на уровне тенденции наблюдается связь с повышенным риском развития ЗНО только для аллели rs2279115*C гена *BCL-2* (ОШ = 1,54; ДИ 95 % 0,99–2,40; p=0,05).

Также выявлены протективные связи ОНП в отношении риска развития ЗНО. В объединенной группе в соответствии с доминантной моделью аллель rs1801270*A гена *CDKN1A* ассоциированы с пониженным риском развития ЗНО (ОШ = 0,62; ДИ 95 % 0,44–0,88; p=0,007 соответственно). На уровне тенденции аллель rs4645878*T гена *BAX*, аллель rs1045485*C гена *CASP8* и аллель rs874881*G гена *PADI4* ассоциированы с пониженным риском развития ЗНО.

В этнической группе тюркит аллель rs1801270*A гена *CDKN1A* ассоциирован с пониженным риском развития ЗНО (ОШ = 0,55; ДИ 95 % 0,35–0,86; p=0,008). В группе славян на уровне тенденции выявлена связь для rs1801270*A гена *CDKN1A* и rs1045485*C гена *CASP8*.

Роль межгенных взаимодействий и дозы облучения в развитии ЗНО

Ряд эпидемиологических и экспериментальных исследований свидетельствует о том, что развитие заболеваний, в том числе и ЗНО, обусловлено не только генетическими или экологическими факторами, но и взаимодействием генов с окружающей средой, а этиология многих заболеваний определяется совместным эффектом наследственности и окружающей среды [13, 14]. Кроме того, взаимодействие факторов окружающей среды с определенными аллельными вариантами может модулировать восприимчивость к заболеваниям. В качестве примера сочетанного влияния генов и окружающей среды на риск развития ЗНО можно привести связь между фолатом, витаминами группы В и полиморфизмом генов, участвующих в одноуглеродном метаболизме [13, 15]

В связи с этим, в настоящем исследовании был проведен анализ вклада межгенных взаимодействий и фактора дозы облучения в риск развития ЗНО. С этой целью рассматривались две модели в зависимости от того, какой наблюдался эффект при анализе отдельных ассоциативных связей полиморфизмов (протективный или рисковый эффект).

При анализе модели 1, включающей дозы облучения ККМ и ОНП генов *TNFa* rs361525, *STAT3* rs1053023, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *BCL2* rs2279115, *TP53* rs1042522, *MDM2* rs2279744, показавшие в исследовании ОШ ассоциацию с повышенным риском развития ЗНО, статистически значимой была пятифакторная модель, включающая в себя дозу облучения ККМ, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *BCL2* rs2279115, *MDM2* rs2279744 (воспроизводимость 10 из 10, точность 62 %; p=0,04). На рисунке 2 представлен граф взаимодействий. Согласно представленному графу, наибольший информационный вклад вносит полиморфизм rs2279744 гена *MDM2* (2,43 %), для остальных ОНП вклад был менее 1 %, включая и ранее выявленный *BCL2* (rs2279115).

[2] STRING v.2.0 - база данных для поиска информации об известных и прогнозируемых взаимодействиях белок-белок и анализа функционального обогащения. Свободный доступ. URL: https://string-db.org/. (Дата обращения: 20.06.2025) [STRING v.2.0 — a database for searching information on known and predicted protein-protein interactions and functional enrichment analysis. Free access. URL: https://string-db.org/. (Accessed June 20, 2025)].

Таблица 2

Частотное распределение аллелей и генотипов по полиморфным локусам регуляции клеточного цикла и клеточной гибели в исследуемых группах

[Table 2

Frequency distribution of alleles and genotypes for polymorphic loci involved in cell cycle and cell death regulation in the studied groups]

Ген Полимор-физм [Gene/SNP]	Модель [Model]	Генотип [Genotype]	Объединенная популяция [General population]			Славяне [Slavs]			Тюрки [Turkic peoples]		
			Коли]че-ство [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значе-ние p [p-value]	Количе-ство [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значе-ние p [p-value]	Количе-ство [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значе-ние p [p-value]
TP53 rs1042522[1]	Доминантная [Doninant]	ARG/ARG PRO/ARG-PRO/PRO	262/156 243/137	1,0 0,95 (0,71-1,26)	0,71	128/76 122/62	1,0 0,86 (0,56-1,30)	0,5	134/80 121/75	1,0 1,04 (0,7-1,55)	0,9
	Рецессивная [Recessive]	ARG/ARG - PRO/ARG PRO/PRO	465/273 40/20	1,0 0,85 (0,49-1,49)	0,57	229/128 21/10	1,0 0,85 (0,39-1,86)	0,7	236/145 19/10	1,0 0,86 (0,39-1,89)	0,7
MDM2 rs2279744[1]	Доминантная [Doninant]	A/A A/C-C/C	139/42 199/105	1,0 1,75 (1,15-2,65)	0,008	79/23 102/49	1,0 1,65 (0,93-2,94)	0,08	60/19 97/56	1,0 1,82 (0,99-3,36)	0,05
	Рецессивная [Recessive]	A/A-A/C C/C	272/110 66/37	1,0 1,39 (0,88-2,19)	0,17	148/55 33/17	1,0 1,39 (0,72-2,69)	0,3	124/55 33/20	1,0 1,37 (0,72-2,59)	0,3
ATM rs664677[1]	Доминантная [Doninant]	T/T C/T-C/C	154/96 424/199	1,0 0,75 (0,55-1,02)	0,07	79/47 199/90	1,0 0,76 (0,49-1,18)	0,2	75/49 225/109	1,0 0,74 (0,48-1,14)	0,2
	Рецессивная [Recessive]	T/T-C/T C/C	434/225 144/70	1,0 0,94 (0,68-1,03)	0,7	205/108 73/29	1,0 0,75 (0,46-1,23)	0,3	229/117 71/41	1,0 1,13 (0,72-1,76)	0,6
CDKN1A rs1801270[1]	Доминантная [Doninant]	C/C C/A-A/A	347/222 141/56	1,0 0,62 (0,44-0,88)	0,007	199/114 44/17	1,0 0,67 (0,37-1,24)	0,2	148/108 97/39	1,0 0,55 (0,35-0,86)	0,008
	Рецессивная [Recessive]	C/C-C/A A/A	467/272 21/6	1,0 0,49 (0,20-1,23)	0,1	232/130 11/1	1,0 0,16 (0,02-1,27)	0,03	235/142 10/5	1,0 0,83 (0,28-2,47)	0,7
BAX rs4645878[1]	Доминантная [Doninant]	C/C T/T-C/T	485/257 72/36	1,0 0,94 (0,62-1,45)	0,8	230/112 41/24	1,0 1,2 (0,69-2,09)	0,52	255/145 31/12	1,0 0,68 (0,34-1,37)	0,3
	Рецессивная [Recessive]	C/C-C/T T/T	547/292 10/1	1,0 0,19 (0,02-1,47)	0,05	-	-	-	281/156 5/1	1,0 0,36 (0,04-3,11)	0,3

Ококнчание таблицы 2

Ген Полиморфизм [Gene/SNP]	Модель [Model]	Генотип [Genotype]	Объединенная популяция [General population]			Славяне [Slavs]			Тюрки [Turkic peoples]		
			Количество [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значение p [p-value]	Количество [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значение p [p-value]	Количество [MNs/with MNs]	ОШ 95 % ДИ [OR 95 % CI]	Значение p [p-value]
BCL-2 rs2279115[1]	Доминантная [Doninant]	A/A A/C-C/C	229/87 324/201	1,0 1,63 (1,21-2,21)	0,001	108/41 159/93	1,0 1,54 (0,99-2,40)	0,05	121/46 165/108	1,0 1,72 (1,13-2,61)	0,01
	Рецессивная [Recessive]	A/A-A/C C/C	454/237 99/51	1,0 0,99 (0,68-1,43)	0,9	225/109 42/25	1,0 1,23 (0,71-2,12)	0,5	229/128 57/26	1,0 0,82 (0,49-1,36)	0,4
CASP8 rs1045485[1]	Доминантная [Doninant]	G/G G/C-C/C	237/220 70/42	1,0 0,65 (0,42-0,99)	0,04	108/103 42/22	1,0 0,55 (0,31-0,98)	0,04	129/117 28/20	1,0 0,79 (0,42-1,47)	0,5
	Рецессивная [Recessive]	G/G-G/C C/C	303/254 4/8	1,0 2,39 (0,71-8,02)	0,1	146/121 4/4	1,0 1,21 (0,30-4,93)	0,8	-	-	-
TNFα rs361525[1]	Доминантная [Doninant]	G/G G/A-A/A	421/245 58/50	1,0 1,48 (0,98-2,23)	0,06	-	-	-	224/116 43/40	1,0 1,80 (1,11-2,92)	0,02
	Рецессивная [Recessive]	G/G-G/A A/A	478/293 1/2	1,0 3,26 (0,29-36,14)	0,3	-	-	-	226/154 1/2	1,0 3,45 (0,31-38,41)	0,3
STAT3 rs1053023	Доминантная [Doninant]	T/T T/C-C/C	262/94 118/41	1,0 0,97 (0,63-1,48)	0,9	126/40 56/23	1,0 1,29 (0,71-2,36)	0,4	136/54 62/18	1,0 0,73 (0,40-1,35)	0,3
	Рецессивная [Recessive]	T/T-T/C C/C	361/129 19/6	1,0 0,88 (0,35-2,26)	0,8	170/61 12/2	1,0 0,46 (0,1-2,13)	0,3	191/68 7/4	1,0 1,61 (0,46-5,65)	0,5
NFκB1 rs28362491	Доминантная [Doninant]	ATTG/ATTG Del/Del Del/ATTG –	106/36 266/95	1,0 1,05 (0,67-1,64)	0,8	47/23 131/39	1,0 0,61 (0,33-1,12)	0,1	59/13 135/56	1,0 1,88 (0,96-3,7)	0,06
	Рецессивная [Recessive]	ATTG/ATTG-Del/ATTG Del/Del	296/104 76/27	1,0 1,01 (0,62-1,65)	0,9	136/54 42/8	1,0 0,48 (0,21-1,09)	0,06	160/50 34/19	1,0 1,79 (0,94-3,41)	0,08
PADI4 rs874881	Доминантная [Doninant]	C/C G/C-G/G	118/48 269/93	1,0 0,85 (0,56-1,28)	0,4	49/23 133/39	1,0 0,62 (0,34-1,15)	0,1	69/25 136/54	1,0 1,10 (0,63-1,91)	0,8
	Рецессивная [Recessive]	C/C-G/C G/G	306/123 81/18	1,0 0,55 (0,32-0,96)	0,03	139/53 43/9	1,0 0,55 (0,25-1,2)	0,1	167/70 38/9	1,0 0,57 (0,26-1,23)	0,1

[1] Результаты по локусам для облученных лиц с поглощенной дозой облучения ККМ более 70 мГр представлены в работе [9] [The results for loci for exposed peopele with an asorbed dose to RBM of more than 70 mGy are presented in the paper [9]].

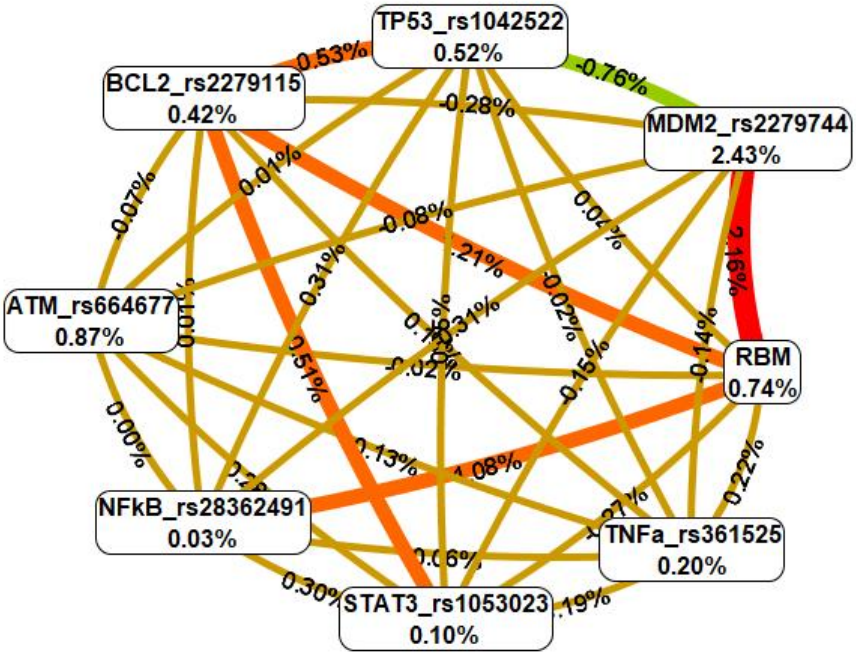


Рис. 2. Граф взаимодействий генов регуляции клеточного цикла, апоптоза и дозы облучения ККМ. RBM – поглощенная доза облучения ККМ. Цветовое обозначение показывает направленность межфакторных взаимодействий: красный и оранжевый – синергизм, желтый – независимое влияние; зеленый– антагонизм.

[**Fig. 2.** Graph of cell cycle regulation and apoptosis genes interaction with bone marrow radiation dose. RBM – absorbed radiation dose of the red bone marrow. The color designation shows the direction of interfactorial interactions: red and orange – synergism, yellow – independent influence; green – antagonism]

Стоит заметить, что ЗНО являются многофакторными заболеваниями и зависят от факторов окружающей среды, факторов образа жизни, эндогенных факторов к которым относятся наследственность, эпигенетических модификации, различные молекулярные вариации, такие как, транскрипционная активность генов, уровень белков, метаболитов, а также стохастическая природа клеточной гибели в ответ на радиационное воздействие. В настоящей работе были изучены лишь фактор облучения и наследственности, что является ограничением и объяснят низкий процент информационного вклад в риск развития ЗНО.

При анализе модели, включающей дозу облучения ККМ, *TNFa* rs361525, *STAT*3 rs1053023, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *TP53* rs1042522, *BAX* rs4645878, *CASP8* rs1045485, *PADI4* rs874881 и *CDKN1*A rs1801270, статистически значимых связей установлено не было.

Далее был проведен биоинформатический анализ вовлеченности изученных генов и их белковых продуктов в реализацию сигнальных и метаболических путей в ответ на повреждения и клеточную гибель, результаты представлены в таблице 3. Уровень значения p обогащения группы отобранных генов и их белковых продуктов составил 0,0000002, что указывает на высокую вероятность биологической связи в единой функциональной группе и высокую вероятность взаимодействий между собой.

В результате анализа изученных генов с ЗНО на основе автоматического анализа текста биомедицинской литературы, аннотаций баз данных, а также доступных данных о мутациях и GWAS исследованиях была установлена ассоциация изученных генов с онкологическими заболеваниями (рис. 3). С ЗНО органов дыхания ассоциированы гены *MDM2, ATM* (FDR = 0,000006); с ЗНО молочной железы ген *ATM* (FDR = 0,001); с солидными ЗНО гены *MDM2, ATM, BCL2, BAX* (FDR = 0,0001); с В-клеточной лимфомой гены *BCL2* и *BAX* (FDR = 0,0001) и синдром Неймегина *ATM* (FDR=0,0001).

Влияние полиморфных вариантов в генах, кодирующих ферменты регуляции клеточного цикла и апоптоза на риск развития ЗНО, может быть обусловлено снижением эффективности остановки клеточного цикла для последующей репарации повреждений, нарушением процессов элиминации поврежденных клеток и, как следствие, накоплением мутантных клеток. В частности, в пан-раковом и кросс-популяционном мета-анализе для 13 видов рака были выявлены десять локусов в генах, имеющих общие молекулярные пути, включая апоптоз и их связь с полигенным риском развития рака [16].

Таблица 3

Вовлеченности отобранных генов в реализацию сигнальных и метаболических путей ответа на повреждения и клеточную гибель на основе анализа базы данных STRING v.2.0

[Table 3

Involvement of selected genes in signaling and metabolic pathways of damage response and cell death based on STRING v.2.0 database analysis]

GO-Обогащение [Gene Ontology enrichment]	Биологический процесс [Biological process]	Гены [Genes]	Сила [Strength]	Значение сигнала [Signal]	Коэффициент ложных открытий (p-значение) [False discovery rate (p-value)]
GO:0010332	Ответ на гамма-облучение [Response to gamma radiation]	*BCL2, MDM2, ATM, BAX*	2,25	2,58	0,000002
GO:0072331	Участие в p53 зависимом сигнальном пути [Participation in p53-dependent signaling pathway]	*MDM2, ATM, BAX,*	2,02	2,08	0,0002
GO:0030330	Ответ на повреждение ДНК и участие в программируемой клеточной смерти [DNA damage response and participation in programmed cell death]	*MDM2, ATM*	2,23	1,79	0,0008
GO:0046666	Программируемая клеточная смерть [programmed cell death]	*BCL2, BAX*	3,09	1,75	0,001
GO:0097193	Внутренний путь апоптоза [Intrinsic apoptotic signaling pathway]	*BCL2, BAX, ATM*	1,77	1,64	0,0006
GO:0006974	Клеточный ответ на повреждения [Cellular response to injury]	*BCL2, DM2, ATM, BAX*	1,36	1,66	0,000001
GO:1901990	Регуляция клеточного цикла и перехода в митозе [Regulation of the cell cycle and mitotic transition]	*BCL2, ATM, MDM2*	1,57	1,63	0,0002
GO:2001021	Отрицательная регуляция на повреждения ДНК [Negative regulation of DNA damage]	*BCL2, MDM2*	1,95	1,5	0,002
GO:0009314	Реакция на радиационное воздействие [Reaction to radiation exposure]	*BCL2, BAX, MDM2, ATM*	1,44	1,37	0,0006
GO:0080134	Регуляция ответа на стресс [Regulation of the stress response]	*BCL2, MDM2, ATM, NFkB1*	1,03	0,86	0,002

Сила – Log10, значение представляет собой соотношение между количеством белков в сети, которые аннотированы, и количеством белков, которые, могут быть аннотированы в случайной сети того же размера. Мера описывает, насколько велик эффект обогащения [Strength – Log10; this measure describes how large the enrichment effect is. It's the ratio between the number of proteins in network that are annotated with a term and the number of proteins that we expect to be annotated with this term in a random network of the same size].

Сигнал – определяется как взвешенное среднее между наблюдаемым / ожидаемым отношением и -log(FDR) [Signal – The signal is defined as a weighted harmonic mean between the observed/expected ratio and -log(FDR)].

Коэффициент ложных открытий – мера, описывающая, насколько значимым является обогащение [False discovery rate –This measure describes how significant the enrichment is].

p-значения, скорректированные для множественного тестирования в каждой категории с использованием процедуры Бенджамини–Хохберга [p-values are corrected for multiple testing within each category using the Benjamini–Hochberg procedure].

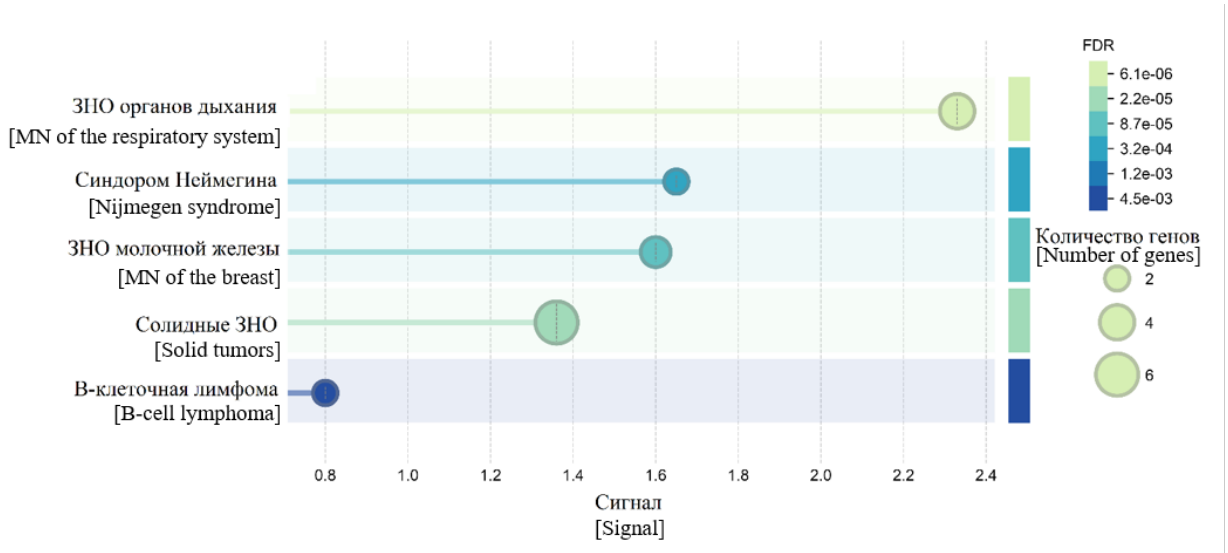


Рис. 3. Связь отобранных генов с ЗНО на основе анализа базы данных STRING v.2.0. FDR - коэффициент ложных открытий
[Fig. 3. Relationship of the selected cancer-associated genes based on STRING database v.2.0 analysis. FDR – false discovery rate]

Заключение

При анализе связи ОНП с риском развития ЗНО у жителей прибрежных сел реки Теча были установлены как протективные генотипы, так и генотипы, ассоциированные с повышенным риском развития ЗНО. Так было выявлено, что полиморфные участки в генах регуляции клеточного цикла *MDM2* rs2279744 и антиапоптотического белка *BCL-2* rs2279115 ассоциированы с повышенным риском развития ЗНО, а полиморфные участки в гене регуляции клеточного цикла *CDKN1A* rs1801270 обладают протективным эффектом в отношении риска развития ЗНО.

Установлено, что пятифакторная модель, включающая в себя дозу облучения ККМ, *NFkB* rs28362491, *ATM* rs664677, *BCL2* rs2279115, *MDM2* rs2279744 (воспроизводимость 10 из 10, точность 62 %; p=0,04) наилучшим образом описывает сочетание полиморфных вариантов и дозы облучения в риске развития ЗНО. При этом выявленные проективные генотипы не подтвердили своего эффекта в модели межгенных взаимодействий.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Блинова Е.А. – разработка дизайна исследования; сбор, анализ и интерпретация полученных результатов, написание текста статьи.

Кореченкова А.В. – статистическая обработка полученных данных, редактирование текста статьи.

Аклеев А.В. – научное руководство, редактирование текста статьи, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за проделанную работу.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Финансирование работы осуществлялось в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

Литература

1. Bourguignon M., Blanchardon E., De Vathaire F. Bouffler S. Individual radiosensitivity: a key issue in radiation protection // International Journal of Low Radiation. 2013. Vol. 9, No. 1. P. 52–58. DOI: 10.1504/IJLR.2013.054186.
2. Yin J., Vogel U., Ma Y. et al. The DNA repair gene XRCC1 and genetic susceptibility of lung cancer in a northeastern Chinese population // Lung Cancer (Amsterdam, Netherlands). 2007. Vol. 56. P. 153–160. DOI: 10.1016/j.lungcan.2006.12.012.
3. Yen C.Y., Liu S.Y., Chen C.H. et al. Combinational polymorphisms of four DNA repair genes XRCC1, XRCC2, XRCC3, and XRCC4 and their association with oral cancer in Taiwan // Journal of Oral Pathology and Medicine. 2008. Vol. 37. P. 271–277. DOI: 10.1111/j.1600-0714.2007.00608.x.
4. Xue X., Yin Z., Lu Y. et al. The joint effect of hOGG1, APE1, and ADPRT polymorphisms and cooking oil fumes on the risk of lung adenocarcinoma in Chinese non-smoking females // PLoS One 2013. Vol. 8. P. e71157. DOI: 10.1371/journal.pone.0071157.
5. Willems P., Claes K., Baeyens A. et al. Polymorphisms in nonhomologous end-joining genes associated with breast cancer risk and chromosomal radiosensitivity // Genes Chromosomes Cancer. 2008. Vol. 47, No. 2. P. 137–148. DOI: 10.1002/gcc.20515.
6. Bulgakova O., Kussainova A., Kakabayev A. et al. Association of polymorphism TP53 Arg72Pro with radon-induced lung cancer in the Kazakh population // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23, No. 5. P. 594–599. DOI: 10.18699/VJ19.530.
7. Янишевская М.А., Блинова Е.А., Кореченкова А.В., Аклеев А.В. Анализ связи полиморфного локуса rs1052133 гена OGG1 с риском развития злокачественных новообразований у людей, подвергшихся радиационному воздействию // Бюллетень Радиация и риск. 2023. Т. 32, № 3. С. 97–108. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-3-97-108.
8. Блинова Е.А., Кореченкова А.В., Янишевская М.А., Аклеев А.В. Влияние полиморфизма генов репарации на риск развития злокачественных новообразований после хронического радиационного воздействия // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69, № 5. С. 53–58. DOI: 10.33266/1024-6177-2024-69-5-53-58.
9. Блинова Е.А., Янишевская М.А., Кореченкова А.В., Аклеев А.В. Связь однонуклеотидных полиморфизмов генов контроля апоптоза и клеточного цикла с риском развития злокачественных новообразований у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Радиационная биология. Радиоэкология. 2023. Т. 63, № 1. С. 60–70. DOI: 10.31857/S0869803123010046.
10. Papadakis E., Soulitzis N., Spandidos D. Association of p53 codon 72 polymorphism with advanced lung cancer: the Arg allele is preferentially retained in tumours arising in Arg/Pro germline heterozygotes // British Journal of Cancer. 2002. Vol. 87. P. 1013–1018. DOI: 10.1038/sj.bjc.6600595.
11. Блинова Е.А., Никифоров В.С., Янишевская М.А., Аклеев А.А. Полиморфизм и экспрессия генов пролиферации и дифференцировки иммунокомпетентных клеток у лиц, подвергшихся радиационному воздействию // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 4. С. 399–406. DOI: 10.18699/VJ20.632.
12. Ritchie M.D., Hahn L.W., Moore J.H. Power of multifactor dimensionality reduction for detecting gene-gene interactions in the presence of genotyping error, missing data, phenocopy, and genetic heterogeneity // Genetic Epidemiology. 2003. Vol. 24, No. 2. P. 150–157. DOI: 10.1002/gepi.10218.
13. Mbemi A., Khanna S., Njiki S. et al. Impact of gene-environment interactions on cancer development // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17, No. 21. Article 8089. DOI: 10.3390/ijerph17218089.
14. Hutter C.M., Mechanic L.E., Chatterjee N. et al. NCI Gene-Environment Think Tank. Gene-environment interactions in cancer epidemiology: a National Cancer Institute Think Tank report // Genetic Epidemiology. 2013. Vol. 37, No. 7. P. 643–657. DOI: 10.1002/gepi.21756.
15. Davey Smith G., Hemani G. Mendelian randomization: genetic anchors for causal inference in epidemiological studies // Human Molecular Genetics. 2014. Vol. 23, Suppl. 1. P. R89–R98. DOI: 10.1093/hmg/ddu328.
16. Sato G., Shirai Y., Namba S. et al. Pan-cancer and cross-population genome-wide association studies dissect shared genetic backgrounds underlying carcinogenesis // Nature communications. 2023. No. 14. P.3671 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-39136-7.

Поступила: 26.06.2025

Блинова Евгения Андреевна – кандидат биологических наук, директор-главный научный сотрудник научно-исследовательского института радиационной биологии и радиационной медицины Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 456783, Россия, Челябинская область, Озерск, Озерское шоссе, д. 19; E-mail: blinova@urcrm.ru

ORCID: 0000-0002-2567-7945

Кореченкова Анастасия Витальевна – научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточной радиобиологии Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

ORCID: 0009-0008-6588-3517

Аклеев Александр Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, и.о. генерального директора Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озерск, Россия

ORCID: 0000-0003-2583-5808

Для цитирования: Блинова Е.А., Кореченкова А.В., Аклеев А.В. Роль генетического полиморфизма в риске развитии злокачественных новообразований у людей, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 7–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-7-17

Contribution of the genetic polymorphisms to cancer risk in chronically exposed individuals

Evgenia A. Blinova , Anastasiya V. Korechenkova, Alexander V. Akleyev

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

*The objective of the current research is to evaluate the contribution of the genetic factor to the risk of cancer development in the individuals affected by chronic low dose-rate exposure on the Techa River. Materials and Methods: The study of the relationship between the polymorphic loci of the genes regulating cell cycle and apoptosis with the risk of cancer development involved 922 members of the Southern Urals Population Exposed to Radiation cohort. Real-time PCR was used to perform the genotyping of polymorphic loci. Results and Discussion: A statistically significant relationship of the alleles rs2279744*C of the gene MDM2 and rs2279115*C of the gene BCL-2 with the increased risk of cancer development has been established (odds ratio = 1.75; confidence interval 95 % [1.15-2.65]; p=0.008 and odds ratio = 1.63; confidence interval 95 % [1.21-2.21]; p=0.001 respectively). Single nucleotide polymorphism that is associated with a decreased risk of cancer development has also been revealed: the allele rs1801270*A of the gene CDKN1A (odds ratio = 0.62; confidence interval 95 % [0.44-0.88]; p=0.007). The analysis of gene interaction factor and absorbed dose to the red bone marrow determined the most statistically significant model that includes the dose to the red bone marrow, NFkB rs28362491, ATM rs664677, BCL2 rs2279115, MDM2 rs2279744 (repeatability is 10 out of 10, accuracy 62 %; p=0.04). Polymorphism rs2279744 of the gene MDM2 is the greatest information contributor (2.43 %). Conclusion: Single nucleotide polymorphisms of the genes encoding cell cycle and cell death enzymes are capable of modifying cancer development risk.*

Key words: *polymorphisms, cancers, ionizing radiation, Techa, the Southern Urals.*

Authors' personal contribution

Blinova E.A. – development of research design, article editing.

Korechenkova A.V. – statistical processing of the data obtained, editing the text of the article.

Akleyev A.V. – scientific supervision, article editing, interpretation of the results obtained, final approval of the published version of the research.

Acknowledgments

The authors are grateful to anonymous reviewers for their work.

Conflict of interests

The authors state that there is no potential conflict of interest.

Evgenia A. Blinova
Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics
Address for correspondence: 19, Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456783, Russia; E-mail: blinova@urcrm.ru

Sources of funding

The work was carried out with the financial support of the Federal Medical and Biological Agency, within the framework of the Federal target program "Ensuring nuclear and radiation safety for 2016-2020 and for the period up to 2030".

References

1. Bourguignon M, Blanchardon E, De Vathaire F, Bouffler S. Individual radiosensitivity: a key issue in radiation protection. *International Journal of Low Radiation*. 2013;9(1): 52–58. DOI: 10.1504/IJLR.2013.054186.
2. Yin J, Vogel U, Ma Y, Qi R, Sun Z, Wang H. The DNA repair gene XRCC1 and genetic susceptibility of lung cancer in a northeastern Chinese population. *Lung Cancer*. 2007;56(2): 153–160. DOI: 10.1016/j.lungcan.2006.12.012.
3. Yen CY, Liu SY, Chen CH, Tseng HF, Chuang LY, Yang CH, et al. Combinational polymorphisms of four DNA repair genes XRCC1, XRCC2, XRCC3, and XRCC4 and their association with oral cancer in Taiwan. *Journal of Oral Pathology and Medicine*. 2008;37(5): 271–277. DOI: 10.1111/j.1600-0714.2007.00608.x.
4. Xue X, Yin Z, Lu Y, Zhou B, Duan X, Zhang Z, et al. The joint effect of hOGG1, APE1, and ADPRT polymorphisms and cooking oil fumes on the risk of lung adenocarcinoma in Chinese non-smoking females. *PLoS One*. 2013;8(8): e71157. DOI: 10.1371/journal.pone.0071157.
5. Willems P, Claes K, Baeyens A, Vandersickel V, Werbrouck J, De Ruyck K, et al. Polymorphisms in nonhomologous end-joining genes associated with breast cancer risk and chromosomal radiosensitivity. *Genes Chromosomes Cancer*. 2008;47(2): 137–148. DOI: 10.1002/gcc.20515.
6. Bulgakova O, Kussainova A, Kakabayev A, Kausbekova A, Bersimbaev R. Association of polymorphism TP53 Arg72Pro with radon-induced lung cancer in the Kazakh population. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5): 594–599. DOI: 10.18699/VJ19.530. (In Russian).
7. Yanishevskaya MA, Blinova EA, Korechenkova AV, Akleyev AV. Association between the rs1052133 polymorphism of the OGG1 gene and the risk of malignant neoplasms development in people chronically exposed to radiation. *Byulleten Radiatsiya i Risk = Bulletin Radiation and Risk*. 2023;32(3): 97–108. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-3-97-108. (In Russian).
8. Blinova EA, Korechenkova AV, Yanishevskaya MA, Akleyev AV. Effect of Repair Gene Polymorphism on the Risk of Malignant Neoplasm Development after Chronic Radiation Exposure. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2024;69(5): 53–58. DOI: 10.33266/1024-6177-2024-69-5-53-58. (In Russian).
9. Blinova EA, Yanishevskaya MA, Korechenkova AV, Akleyev AV. Association Between Single Nucleotide Polymorphisms of Apoptosis and Cell Cycle Control Genes and the Risk of Cancer Development in Chronically Exposed Persons. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology*. 2023;63(1): 60–70. DOI: 10.31857/S0869803123010046. (In Russian).
10. Papadakis E, Soulitzis N, Spandidos D. Association of p53 codon 72 polymorphism with advanced lung cancer: the Arg allele is preferentially retained in tumours arising in Arg/Pro germline heterozygotes. *British Journal of Cancer.* 2002;87: 1013–1018. DOI: 10.1038/sj.bjc.6600595.
11. Blinova EA, Nikiforov VS, Yanishevskaya MA, Akleyev AA. Single nucleotide polymorphisms and expression of genes for immune competent cell proliferation and differentiation in radiation-exposed individuals. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(4): 399–406. DOI: 10.18699/VJ20.632. (In Russian).
12. Ritchie MD, Hahn LW, Moore JH. Power of multifactor dimensionality reduction for detecting gene-gene interactions in the presence of genotyping error, missing data, phenocopy, and genetic heterogeneity. *Genetic Epidemiology*. 2003;24(2): 150–157. DOI: 10.1002/gepi.10218.
13. Mbemi A, Khanna S, Njiki S, Yedjou CG, Tchounwou PB. Impact of gene-environment interactions on cancer development. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020;17(21): 8089. DOI: 10.3390/ijerph17218089.
14. Hutter CM, Mechanic LE, Chatterjee N, Kraft P, Gillanders EM; NCI Gene-Environment Think Tank. Gene-environment interactions in cancer epidemiology: a National Cancer Institute Think Tank report. *Genetic Epidemiology*. 2013;37(7): 643–657. DOI: 10.1002/gepi.21756.
15. Davey Smith G, Hemani G. Mendelian randomization: genetic anchors for causal inference in epidemiological studies. *Human Molecular Genetics*. 2014;23(R1): R89–R98. DOI: 10.1093/hmg/ddu328.
16. Sato G, Shirai Y, Namba S, Edahiro R, Sonehara K, Hata T, et al. Pan-cancer and cross-population genome-wide association studies dissect shared genetic backgrounds underlying carcinogenesis. *Nature communications*. 2023;14: 3671. DOI: 10.1038/s41467-023-39136-7.

Received: June 26, 2025

For correspondence: Evgenia A. Blinova – Candidate of Science in Biology, Director - Chief Researcher of the Research Institute of Radiation Biology and Radiation Medicine, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency (19 Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456783, Russia; E-mail: blinova@urcrm.ru)

ORCID: 0000-0002-2567-7945

Anastasiya V. Korechenkova – Researcher of the Laboratory of Molecular and Cellular Radiobiology, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

ORCID: 0009-0008-6588-3517

Alexander V. Akleyev – Doctor of Sciences in Medical Sciences, Professor, Honoured Worker of Science of the Russian Federation, Acting Director General, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

ORCID: 0000-0003-2583-5808

For citation: Blinova E.A., Korechenkova A.V., Akleyev A.V. Contribution of the genetic polymorphisms to cancer risk in chronically exposed individuals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 7–17. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-7-17

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-18-28
УДК: 614.876:615.849:616-073.75

Оценка доз облучения в плоде при проведении радионуклидной диагностики беременным

Чипига Л.А.[1,2,3], Милованова Е.К. [4], Звонова И.А.[1], Водоватов А.В.[1,5], Важенина Д.А.[2], Станжевский А.А.[2]

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

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

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

[4] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

[5] Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Целью работы являлась оценка доз облучения плода при проведении процедур радионуклидной диагностики беременным пациенткам. Материалы и методы: Оценка поглощенных доз в плоде за счет радиофармацевтического препарата, вводимого матери при проведении процедур радионуклидной диагностики, была выполнена для наиболее распространенных процедур, проводимых в Российской Федерации, с использованием коэффициентов перехода от вводимой активности радионуклидов в радиофармацевтическом препарате к поглощенной дозе. Использовали типичные значения вводимых активностей радионуклидов для каждого радиофармацевтического препарата и коэффициенты перехода с учетом стадии беременности пациентки, на которой проводилось исследование. Для сравнения были определены поглощенные дозы в матке матери, как наиболее близкорасположенном органе. Для гибридных исследований поглощенные дозы в плоде от компьютерно-томографического сканирования матери на разных стадиях беременности были рассчитаны в программе FetalDose для типичных протоколов сканирования взрослых пациенток. Результаты исследования и обсуждение: Поглощенные дозы в плоде от вводимого радиофармацевтического препарата для большинства исследований не превышают 10 мГр. При проведении гибридных исследований, при которых зона компьютерно-томографического сканирования затрагивает область брюшной полости, доза от компьютерной томографии вносит наибольший вклад в суммарную дозу (не превышают 20 мГр), что обосновывает ограничение зоны сканирования или применение низкодозовых протоколов при сканировании всего тела. Исключением является исследование с ^{67}Ga-цитратом, при котором поглощенная доза в плоде может превышать 50 мГр; при этом наибольший вклад в дозу обусловлен вводимым матери радиофармацевтическим препаратом. Заключение: Полученные результаты показали, что для большинства процедур радионуклидной диагностики риски развития детерминированных эффектов в плоде или стохастических эффектов у ребенка от проводимого матери диагностического исследования минимальны. Целесообразно оценивать дозы и риски индивидуально для каждой пациентки с учетом клинической ситуации и истории рентгенологических исследований.

Ключевые слова: *радионуклидная диагностика, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ, беременная пациентка, поглощенные дозы в плоде, радиофармпрепараты, компьютерная томография.*

Введение

Проведение рентгенорадиологических процедур беременным пациенткам требует дополнительного внимания как к обоснованию назначения исследования в период беременности, так и к оптимизации радиационной защиты при проведении процедуры[1,2] [1–3]. Согласно принятой международной парадигме, дополнительный риск развития

[1] СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards “Hygienic requirements for the design and operation of X-ray machines and the conduct of X-ray examinations. SanPiN 2.6.1.1192-03”. (In Russ.)]

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

Чипига Лариса Александровна
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E mail: larisa.chipiga@gmail.com

у ребенка детерминированных и стохастических эффектов от проводимого матери диагностического исследования при дозах в плоде ниже 100 мГр (500 мГр в США) отсутствует [1, 5]. Таким образом, отсутствует необходимость отказа от необходимых диагностических исследований или прерывания беременности после проведения исследования [4, 6]. На протяжении всего периода беременности существуют риски нарушения внутриутробного развития плода, ассоциированные с облучением, которые зависят от стадии беременности и поглощенной дозы в плоде [4]:

– зародышевый (первые 7 дней после зачатия), во время которого существует риск потери эмбриона при пороговой дозе ~ 150 мГр, причем риск возрастает при росте дозы на 10 мГр от 0,5 % до 1 %;

– эмбриональный период (с 2 по 7 неделю после зачатия), во время которого существуют риски развития пороков развития (например, нейропатологии, задержки роста или другие пороки развития, которые затрагивают глаза, сердечно-сосудистую систему, почки и опорно-двигательный аппарат) при пороговой дозе ~ 250 мГр. Однако центральная нервная система менее уязвима к воздействию радиационного фактора во время эмбрионального периода;

– плодный период (с 8 по 40 неделю после зачатия), во время которого сохраняются риски пороков развития, особенно невропатологий и задержки роста у ребенка, в первом периоде (с 8 по 15 неделю) при пороговой дозе ~ 100 мГр, что связано с высокой скоростью митоза нейронов и их миграцией, и повышением пороговой дозы > 500 мГр в поздний плодный период (после 16 недели).

При проведении радионуклидной диагностики (РНД) используются радиофармацевтические лекарственные препараты (РФЛП), меченные радионуклидами, которые после введения пациенту распределяются в организме пациента, накапливаются в очагах и выводятся через органы выведения, чаще всего через мочевыделительную систему. Для большинства широко используемых в настоящее время РФЛП на основании клинических исследований разработаны биокинетические модели, которые позволяют оценить уровни накопления РФЛП в органах и тканях пациентов, а также дозы облучения пациентов от вводимого радионуклида и связанные с этим радиационные риски [7, 8, 9]. Некоторые РФЛП, меченные ^{99m}Tc и другими радионуклидами, слабо проникают через плаценту, не создавая высоких доз в плоде, так как облучение плода происходит за счет внешнего излучения радионуклидов, распределенных в организме матери вне плода, главным образом – от близко расположенного мочевого пузыря, через который происходит выведение радионуклида [10, 11]. Однако часть применяемых РФЛП могут проходить через плацентарный барьер и накапливаться в органах и тканях эмбриона[3], например [1]: ^{99m}Tc-фосфаты и фосфонаты, ^{99m}Tc-пертехнетат, ^{99m}Tc-теоксим [12], ^{18}F-фтордезоксиглюкоза (ФДГ) [13, 14], РФЛП, меченные йодом [2, 15], и др.

По опубликованным данным дозы в плоде от большинства РНД-исследований не превышают 10 мГр на ранних сроках беременности и 3 мГр на поздних сроках [16]. Дополнительная доза от компьютерного томографического (КТ) сканирования может быть получена при гибридных исследованиях (однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с КТ – ОФЭКТ/КТ или позитронная эмиссионная томография, совмещенная с КТ – ПЭТ/КТ) [17]. Дозы в плоде от КТ-сканирования зависят от зоны сканирования; если плод не находится в зоне сканирования, то доза в плоде минимальна [3, 18]. В случае, если КТ-сканирование затрагивает область брюшной полости, доза плода выше; однако для большинства исследований она ниже порога, при котором повышается вероятность пороков развития или радиогенного рака у ребенка [1, 3].

Цель исследования – оценка поглощенных доз в плоде при проведении радионуклидных исследований матери в Российской Федерации.

Материалы и методы

Оценка поглощённых доз от РФЛП

Оценку дозы от вводимого РФЛП проводили на основании значений типичных активностей, вводимых взрослым пациентам[4], с использованием специфических для каждого РФЛП коэффициентов перехода от активности радионуклида в РФЛП к поглощенной дозе, которые представлены в таблице 1:

– метод I – с использованием коэффициентов, позволяющих оценить поглощенную дозу для эмбриона на единицу активности РФЛП на четырех стадиях развития плода [16];

– метод II – считая поглощенную дозу в плоде эквивалентной поглощенной дозе в матке матери, которую определяют с использованием коэффициентов для оценки поглощенной дозы в матке женщины из Публикаций МКРЗ 53 и 128 [7,9,18]. Этот метод не позволяет определить дозу в плоде на разных стадиях развития эмбриона.

Оценка поглощенных доз от КТ–сканирования для гибридных исследований

Для гибридных исследований определяли поглощенные дозы от КТ-сканирования на основании параметров протоколов проведения исследования с использованием специализированного программного обеспечения Fetaldose [19]. Значения компьютерно-томографического индекса дозы ($CTDI_{vol}$) для типичных протоколов КТ-сканирования разных зон в рамках гибридных исследований взрослых пациентов на разных КТ-аппаратах, которые использовались при расчетах, представлены в таблице 2 [20].

[3] ОФС.1.11.0001. Общая фармакопейная статья. Радиофармацевтические лекарственные препараты (утв. и введена в действие Приказом Минздрава России от 20.07.2023 N 377) («Государственная фармакопея Российской Федерации. XV издание»). [OFS.1.11.0001. General pharmacopoeial article. Radiopharmaceutical medicinal products (approved and put into effect by Order of the Ministry of Health of Russia dated 20.07.2023 N 377) ("State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XV edition") (In Russ.)]

[4] Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. "Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований" [Methodological recommendations MR 2.6.1.0215-20. "Assessment of radiation risk in patients during X-ray and radiological examinations" (In Russ.)]

Таблица 1

Типичные активности радионуклидов в РФЛП, вводимые взрослым пациентам в Российской Федерации, и использованные коэффициенты перехода

[Table 1

Typical radiopharmaceutical activities administered to adult patients in the Russian Federation and the used conversion factors]

Исследование [Examination]	Активность, МБк [Activity, MBq]	Коэффициенты перехода, мГр/МБк [Conversion factors, mGy/MBq]				
		Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
		Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	6 месяцев [6 months]	9 месяцев [9 months]	
Все тело с ^{123}I-МИБГ [Whole body ^{123}I-mIBG]	250	0,018	0,012	0,0068	0,0062	0,011[9]
Щитовидная железа (ЩЖ) с ^{99m}Tc-пертехнетат [Thyroid ^{99m}Tc-pertechnetate]	250	0,011	0,022	0,014	0,0093	0,0081[7]
ЩЖ с ^{123}I-NaI [Thyroid ^{123}I-NaI]	10	0,02	0,014	0,011	0,0098	0,014 [9]
Все тело с ^{67}Ga-цитрат [Whole body ^{67}Ga-citrate]	250	0,093	0,2	0,18	0,13	0,076[7]
Скелет с ^{99m}Tc-фосфонаты [Skeleton of ^{99m}Tc - ph&ph]	600	0,006	0,0066	0,0036	0,0029	0,0062[7]
Почки с ^{99m}Tc-технемаг [Kidney ^{99m}Tc-MAG3]	150	0,018	0,014	0,0055	0,0052	0,012[7]
Почки с ^{99m}Tc-пентатех [Kidney ^{99m}Tc-DTPA]	150	0,012	0,0087	0,0041	0,0047	0,0079[7]
Почки с ^{99m}Tc-технемек [Kidney ^{99m}Tc-DMSA]	110	0,0051	0,0047	0,004	0,0034	0,0045[7]
Почки с ^{123}I-гиппуран [Kidney ^{123}I-hippuran]	30	0,031	0,024	0,0084	0,0079	0,017[9]
Легкие с ^{99m}Tc-макротех [Lungs ^{99m}Tc-MAA]	150	0,0028	0,004	0,005	0,004	0,0022[7]
Миокард с ^{99m}Tc-технетрил [Myocardium ^{99m}Tc-MIBI]	500	0,015	0,012	0,0084	0,0054	0,0078[7]
Печень с ^{99m}Tc-технефит [Liver ^{99m}Tc-colloid]	150	0,0032	0,0025	0,0028	0,0028	0,0011[7]
Печень с ^{99m}Tc-бромезида [Liver ^{99m}Tc-IDA]	150			–*		0,011[7]
Все тело с ^{18}F-ФДГ [Whole body ^{18}F-FDG]	300	0,027	0,017	0,0094	0,0081	0,018[7]
Головной мозг с ^{18}F-ФДГ [Brain ^{18}F-FDG]	150					
Головной мозг с ^{11}C-метионин [Brain ^{11}C-methionine]	600			–*		0,0068[7]

*Коэффициенты перехода для ^{99m}Tc-бромезида и ^{11}C-метионин не определены в работе [16] [Conversion factors for ^{99m}Tc-IDA and ^{11}C-methionine were not determined in the study [16]].

Таблица 2

Значения $CTDI_{vol}$ на разных КТ-аппаратах для протоколов КТ-сканирования с технологией автоматической модуляцией силы тока (АМСТ) и без АМСТ

[Table 2

The CTDIvol for different CT models and scan protocols with automatic tube current modulation (ATCM) and without ATCM]

КТ - аппараты* [CT model]	Все тело, $CTDI_{v32}$, мГр [Whole body, $CTDI_{v32}$, mGy]		Грудная клетка, $CTDI_{v32}$, мГр [Chest, $CTDI_{v32}$, mGy]		Голова/шея, $CTDI_{v16}$, мГр [Head/neck, $CTDI_{v32}$, mGy]	
	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]
GE LightSpeed (Average), General Electric	5,7	10,8	9,5	10,8	5,2	21,1
Optima 600, General Electric	4,2	8,0	3,7	8,0	4,0	16,2

Окончание таблицы 2

КТ - аппараты* [CT model]	Все тело, $CTDI_{v32}$, мГр [Whole body, $CTDI_{v32}$, mGy]		Грудная клетка, $CTDI_{v32}$, мГр [Chest, $CTDI_{v32}$, mGy]		Голова/шея, $CTDI_{v16}$, мГр [Head/neck, $CTDI_{v32}$, mGy]	
	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]
Somatom Definition (Average), Siemens	3,6	6,7	5,9	6,7	3,5	14,4
Somatom Definition 64 (narrow BF), Siemens	3,5	6,5	5,7	6,5	3,7	15,2
Somatom Definition 64 (wide BF), Siemens	4,2	8,0	7,1	8,0	4,2	17,2
Somatom Emotion 16, Siemens	5,4	10,2	9,0	10,2	5,4	21,8
Somatom Emotion 6, Siemens	6,5	12,2	10,8	12,2	6,2	25,2
Somatom Emotion Duo, Siemens	4,4	8,2	7,2	8,2	4,4	17,8
Somatom Sensation 40, Siemens	3,6	6,8	6,0	6,8	3,5	14,2

* Длина сканирования: все тело – 1635 мм, грудная клетка – 375 мм, голова – 180 мм, шея – 90 мм [Scan length: whole body – 1635 mm, chest – 375 mm, head – 180 mm, neck – 90 mm]

Дозы пациентов при проведении гибридных исследований определяли как сумму доз от вводимого РФЛП и от КТ-сканирования соответствующей зоны. При этом учитывали, затрагивает ли зона интереса при исследовании область брюшной полости. Считали, что в случае исследования органов брюшной полости и всего тела плод будет полностью попадать в зону КТ-сканирования и для исследований всего тела, скелета, почек и печени использовали значения доз для протокола «Все тело». При исследовании легких и миокарда, а также в некоторых случаях при исследованиях скелета либо всего тела с ^{123}I-МИБГ или ^{67}Ga-цитрата, зона интереса и, соответственно, КТ-сканирования может граничить с областью брюшной полости и может частично затрагивать плод; поэтому для этих исследований использовали значения доз для протокола «Грудная клетка». При исследовании ЩЖ использовали значения доз для протокола шеи, а при исследовании головы – для протокола головы.

Обработку полученных результатов проводили с помощью программного обеспечения MS Excel.

Результаты и обсуждение

Поглощённые дозы в плоде при рутинных РНД-исследованиях

Поглощенные дозы в плоде от вводимого РФЛП, определенные двумя методами, представлены в таблице 3. Почти при всех исследованиях, проводимых в Российской Федерации, дозы в плоде от вводимого РФЛП – в пределах 10 мГр. Исключением является исследование всего тела с ^{67}Ga-цитратом, доза при котором может варьировать от 20 мГр при проведении исследования в первые недели после зачатия и достигать 50 мГр в первом триместре беременности, что является половиной пороговой дозы (100 мГр) для рассмотрения прерывая беременности.

Таблица 3

Поглощенные дозы от РФЛП в плоде

[Table 3

Absorbed doses from radiopharmaceuticals in fetus]

Исследуемый орган и РФЛП [Organ of interest]	Поглощенные дозы, мГр [Absorbed doses, mGy]				
	Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	
Все тело с ^{123}I-МИБГ [Whole body ^{123}I-MIBG]	4,5	3,0	1,7	1,5	2,8
ЩЖ с ^{99m}Tc-пертехнетат [Thyroid ^{99m}Tc-pertechnetate]	2,8	5,5	3,5	2,3	2,0
ЩЖ с ^{123}I-NaI [Thyroid ^{123}I-NaI]	0,2	0,14	0,11	0,098	0,14
Все тело с ^{67}Ga-цитрат [Whole body ^{67}Ga-citrate]	23	50	45	33	19
Скелет с ^{99m}Tc-фосфонаты [Skeleton of ^{99m}Tc - ph&ph]	3,6	3,9	2,2	1,7	3,7
Почки с ^{99m}Tc-технемаг [Kidney ^{99m}Tc-MAG3]	2,7	2,1	0,83	0,78	1,8

Окончание таблицы 3

Исследуемый орган и РФЛП [Organ of interest]	Поглощенные дозы, мГр [Absorbed doses, mGy]				
	Метод I [15] [Method I]				Метод II [Method II]
	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	Ранний срок [Early]	3 месяца [3 months]	
Почки с ^{99m}Tc-пентатех [Kidney ^{99m}Tc-DTPA]	1,8	1,3	0,62	0,71	1,2
Почки с ^{99m}Tc-технемек [Kidney ^{99m}Tc-DMSA]	0,56	0,52	0,44	0,37	0,50
Почки с ^{123}I-гиппуран [Kidney ^{123}I-hippuran]	0,93	0,72	0,25	0,24	0,51
Легкие с ^{99m}Tc-макротех [Lungs ^{99m}Tc-MAA]	0,42	0,6	0,75	0,6	0,33
Миокард с ^{99m}Tc-технетрил [Myocardium ^{99m}Tc-MIBI]	7,5	6	4,2	2,7	3,9
Печень с ^{99m}Tc-технефит [Liver ^{99m}Tc-colloid]	0,48	0,38	0,42	0,42	0,17
Печень с ^{99m}Tc-бромезида [Liver ^{99m}Tc-IDA]		–*		1,7	
Все тело с ^{18}F-ФДГ [Whole body ^{18}F-FDG]	8,1	5,1	2,8	2,4	5,4
Головной мозг с ^{18}F-ФДГ [Brain ^{18}F-FDG]	4,1	2,6	1,4	1,2	2,7
Головной мозг с ^{11}C-метионин [Brain ^{11}C-methionine]		–*		4,1	

*Коэффициенты перехода и поглощенные дозы для ^{99m}Tc-бромезида и ^{11}C-метионин не определены в работе [16] [Conversion factors and absorbed doses for ^{99m}Tc-IDA and ^{11}C-methionine were not determined in the study [16]]

Результаты расчётов демонстрируют, что, как правило, при проведении исследования на более поздних сроках беременности поглощённая доза в плоде ниже, чем на более ранних. Исключением являются исследования ЩЖ с ^{99m}Tc-пертехнетатом, всего тела с ^{67}Ga-цитратом, легких с ^{99m}Tc-макротехом, когда поглощенные дозы в плоде при проведении исследования в первые недели после зачатия ниже по сравнению с проведением исследования на более поздних сроках.

Метод II оценки доз в плоде от вводимого РФЛП (на основании доз в матке матери) может приводить как к завышению, так и к занижению дозы. На ранних сроках беременности в некоторых случаях отмечается недооценка дозы более чем в 2 раза. Сравнение доз от РФЛП в плоде на разных стадиях, определенных методом I, с дозами, определенными методом II, представлено на рисунке 1. Например, при исследовании печени с ^{99m}Tc-технефитом доза, оцененная методом II, более чем в 2 раза ниже, чем доза, оцененная методом I, для всех сроков. Также большие отклонения (занижение более чем на 50 %) доз в плоде в первые недели после зачатия были получены для исследований почек с ^{99m}Tc-технемага, ^{99m}Tc-пентатеха и ^{123}I-гиппурана, всего тела с ^{123}I-МИБГ и ^{18}F-ФДГ, а также миокарда с ^{99m}Tc-технетрилом; для других исследований недооценка не превышала 50 %. При проведении исследований во втором и третьем триместре оценка доз при использовании метода II может привести к переоценке доз вплоть до 50 % (при исследовании скелета с ^{99m}Tc-фосфатами и фосфонатами, почек с ^{99m}Tc-технемагом, ^{99m}Tc-пентатеом и ^{123}I-гиппураном, всего тела и головного мозга с ^{18}F-ФДГ).

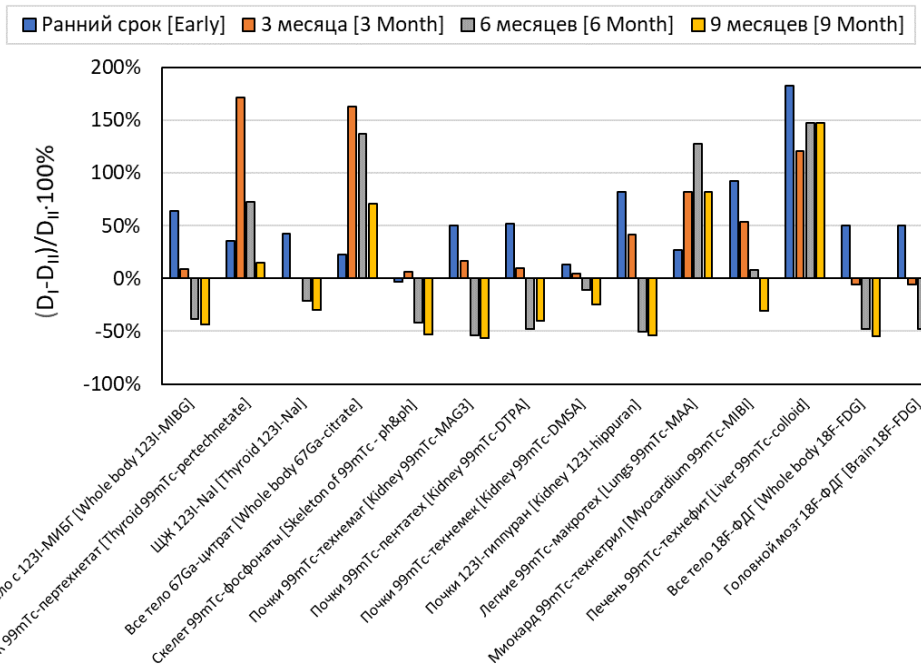


Рис. 1. Сравнение поглощенных доз в плоде от РФЛП, определенных двумя разными методами
[**Fig. 1.** Comparison of fetal absorbed doses from radiopharmaceuticals determined by two different methods]

Поглощенные дозы при гибридных исследованиях

Дополнительную дозу в рамках гибридных исследований плод получает от КТ-сканирования. Доза в плоде при КТ-сканировании будет в значительной мере определяться зоной интереса. В случае обследования области брюшной полости или всего тела плод будет находиться в зоне сканирования, в случае сканирования соседних зон плод может быть частично облучен за счет воздействия прямого пучка или рассеянного излучения. Поглощенные дозы в плоде при КТ-сканировании всего тела и грудной клетки матери на разных стадиях беременности представлены на рисунках 2 и 3 соответственно. При КТ-сканировании головы или шеи матери доза в плоде – менее 0,1 мкГр за счет удаленности.

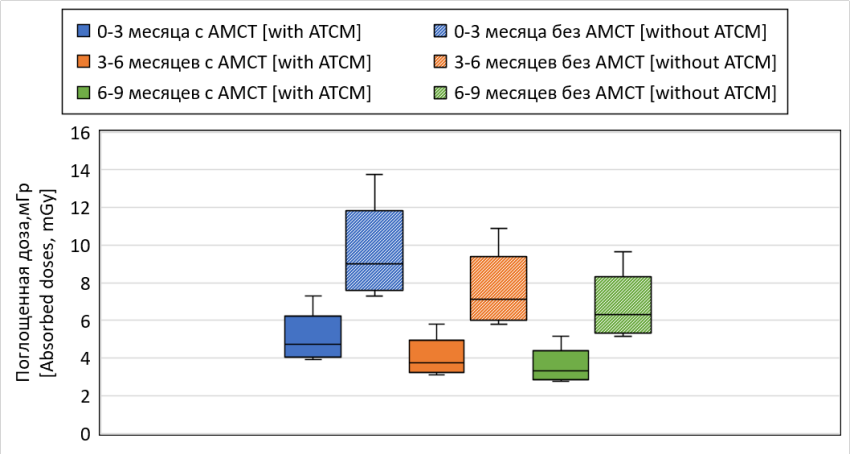


Рис. 2. Поглощенные дозы в плоде при КТ-сканировании всего тела в рамках гибридных исследований матери на разных стадиях беременности с АМСТ и без АМСТ. Черта – медиана, бокс – 25-75%, усы – мин-макс.

[**Fig. 2.** Fetal absorbed doses from whole body CT scans in hybrid examinations at gestational stages for CT protocols with ATCM and without ATCM. Dash – median, box – 25-75%, whiskers – min-max]

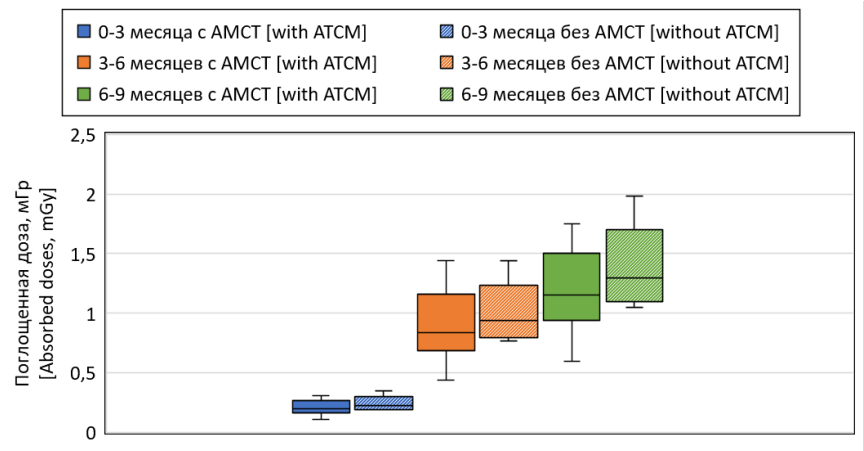


Рис. 3. Поглощенные дозы в плоде от КТ-сканировании грудной клетки в рамках гибридных исследований матери на разных стадиях беременности для протоколов КТ-сканирования с АМСТ и без АМСТ. Черта – медиана, бокс – 25-75%, усы – мин-макс.

[**Fig. 3.** Fetal absorbed doses from chest CT scans in hybrid examinations at different gestational stages for CT protocols with ATCM and without ATCM. Dash – median, box – 25-75%, whiskers – min-max]

При КТ-сканировании матери в первом триместре беременности, когда плод полностью находится в зоне сканирования, поглощенная доза в плоде не превышает 15 мГр и снижается при проведении сканирования в более поздние сроки. Стоит отметить существенный разброс поглощенных доз в плоде (до трех раз могут различаться дозы от одного исследования) при проведении исследований на разных аппаратах при типичных протоколах сканирования. Использование функции АМСТ при проведении сканирования зоны, захватывающей плод, позволяет почти в 2 раза снизить поглощенную дозу в плоде. При сканировании зоны, не захватывающей плод (например, грудной клетки), поглощенная доза в плоде не превышает 2 мГр, при этом доза в таком случае будет ниже в более ранние сроки беременности, когда размер плода минимален.

Результаты оценки суммарных поглощенных доз в плоде при гибридных исследованиях представлены в таблице 4.

Таблица 4

Поглощённые дозы в плоде при проведении гибридных исследований матери на разных сроках беременности с использованием протоколов КТ-сканирования с АМСТ и без АМСТ

[Table 4

Fetal absorbed doses during hybrid studies at different gestational stages using CT protocols with ATCM and without ATCM]

Исследование [Examination]	Ранний период [Early]		3 месяца [3 months]		6 месяцев [6 months]		9 месяцев [9 months]	
	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]
Все тело с ^{123}I-МИБГ (КТ всего тела) [Whole body ^{123}I-MIBG (Whole body CT)]	13	9,2	12	7,7	8,9	5,5	7,9	4,9
Все тело с ^{123}I-МИБГ (КТ грудной клетки) [Whole body ^{123}I-MIBG (Chest CT)]	4,7	4,7	3,2	3,2	2,6	2,5	2,9	2,7
ЩЖ с ^{99m}Tc-пертехнетат (КТ шеи) [Thyroid ^{99m}Tc-pertechnetate (CT scan of the neck)]	2,8	2,8	5,5	5,5	3,5	3,5	2,3	2,3
ЩЖ с ^{123}I-NaI (КТ шеи) [Thyroid ^{123}I-NaI (Neck CT)]	0,2	0,2	0,14	0,14	0,11	0,11	0,098	0,098
Все тело с ^{67}Ga-цитрат (КТ всего тела) [Whole body ^{67}Ga-citrate (Whole body CT)]	32	28	59	55	52	49	39	36
Все тело с ^{67}Ga-цитрат (КТ грудной клетки) [Whole body ^{67}Ga-citrate (Chest CT)]	23	24	50	50	46	46	34	34
Скелет с ^{99m}Tc-фосфонаты (КТ всего тела) [Skeleton of ^{99m}Tc - ph&ph (Whole body CT)]	13	8,3	13	8,7	9,3	5,9	8,1	5,1
Скелет с ^{99m}Tc-фосфонаты (КТ грудной клетки) [Skeleton of ^{99m}Tc - ph&ph (Chest CT)]	3,8	3,8	4,2	4,2	3,1	3	3,0	2,9
Почки с ^{99m}Tc-технемаг (КТ всего тела) [Kidney ^{99m}Tc-MAG3 (Whole body CT)]	12	7,4	11	6,8	7,9	4,6	7,1	4,1
Почки с ^{99m}Tc-пентатех (КТ всего тела) [Kidney ^{99m}Tc-DTPA (Whole body CT)]	11	6,5	10	6,03	7,8	4,4	7,0	4,0
Почки с ^{99m}Tc-технемек (КТ всего тела) [Kidney ^{99m}Tc-DMSA (Whole body CT)]	9,6	5,3	9,5	5,3	7,6	4,2	6,7	3,7
Почки с ^{123}I-гиппуран (КТ всего тела) [Kidney ^{123}I-hippuran (Whole body CT)]	9,9	5,7	9,7	5,5	7,4	4,0	6,6	3,6
Легкие с ^{99m}Tc-макротех (КТ грудной клетки) [Lungs ^{99m}Tc-MAA (Chest CT)]	0,65	0,62	0,83	0,8	1,7	1,6	1,9	1,8
Миокард с ^{99m}Tc-технетрил (КТ грудной клетки) [Myocardium ^{99m}Tc-MIBI (Chest CT)]	7,7	7,7	6,2	6,2	5,1	5,0	4	3,8
Печень с ^{99m}Tc-технефит (КТ всего тела) [Liver ^{99m}Tc-colloid (Whole body CT)]	9,5	5,2	9,4	5,1	7,6	4,2	6,8	3,8
Печень с ^{99m}Tc-бромезида (КТ всего тела) [Liver ^{99m}Tc-IDA (Whole body CT)] *	11	6,4	11	6,4	8,8	5,4	7,9	4,9
Все тело с ^{18}F-ФДГ (КТ всего тела) [Whole body ^{18}F-FDG (Whole body CT)]	17	13	14	9,8	9,9	6,6	8,8	5,8

Окончание таблицы 4

Исследование [Examination]	Ранний период [Early]		3 месяца [3 months]		6 месяцев [6 months]		9 месяцев [9 months]	
	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]	без АМСТ [without ATCM]	с АМСТ [with ATCM]
Головной мозг с ^{18}F-ФДГ (КТ головы) [Brain ^{18}F-FDG (Head CT)]	4,1	4,1	2,6	2,6	1,4	1,4	1,2	1,2
Головной мозг с ^{11}С-метионин (КТ головы) [Brain ^{11}C-methionine (Head CT)] *	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1

* Для исследований с ^{99m}Tc-бромезида и ^{11}С-метионин использованы значения поглощенных доз от РФЛП, определенных методом II для всех сроков беременности [The doses from radiopharmaceuticals determined based on method II were used for examinations with ^{99m}Tc-IDA and ^{11}C-methionine].

Для большинства гибридных исследований, проводимых в Российской Федерации, поглощенные дозы в плоде составляют не более 20 мГр и не превысят порог в 100 мГр даже в случае проведения многофазного КТ-сканирования. Это свидетельствует о низких дополнительных рисках отклонений развития у ребенка или рака в детском возрасте от проводимого матери диагностического исследования. При проведении гибридных исследований, при которых зона КТ-сканирования затрагивает область брюшной полости, доза в плоде за счет КТ-сканирования вносит наибольший вклад в итоговую дозу, что обуславливает применение низкодозовых протоколов КТ-сканирования с использованием АМСТ при ПЭТ/КТ-исследованиях всего тела и ограничений зон сканирования при ОФЭКТ/КТ-исследованиях. Следует отметить, что высокодозовое КТ-исследование в рамках гибридного исследования может проводиться как альтернатива отдельному диагностическому КТ; в таком случае применение стандартных (высокодозовых) протоколов оправдано. Исключением является исследование с ^{67}Ga-цитратом при котором доза в плоде может превышать 50 мГр, при этом наибольший вклад в дозу обусловлен вводимым матери РФЛП. С учетом такой высокой дозы облучения плода при этом виде исследования и высокой вероятности проведения дополнительных исследований лучевой диагностики, с точки зрения радиационной защиты пациентки целесообразно проведение альтернативного исследования.

Для большинства РНД-исследований доза в плоде и риск врожденных патологий, связанных с проведением исследования матери, существенно ниже после 16-й недели беременности, поэтому с точки зрения радиационной защиты целесообразно проведение исследования во второй половине беременности. При проведении исследования рекомендуется гидратация и частое мочеиспускание пациентки после введения РФЛП, которые выводятся почками, что позволит снизить дозу в плоде. Для снижения вероятности непреднамеренного облучения беременной пациентки рекомендуется проведение особенного информирования пациенток детородного возраста о радиационных рисках и проведение теста на беременность перед исследованием.

Согласно опубликованным данным, дополнительный риск одного рака в детском возрасте (не смерти) от внутриутробного облучения приходится на 1700 случаев облучений в дозе 10 мГр [12]. При обосновании исследования этот риск стоит сопоставлять с риском недодиагностики матери и связанных с этим осложнений с учетом состояния пациентки. Дополнительно стоит учитывать дозу от других исследований, проведенных пациентке за время беременности, методами лучевой диагностики.

Заключение

Полученные в работе результаты показали, что при проведении исследований на ранних стадиях беременности поглощенные дозы в плоде от вводимого матери РФЛП будут выше, чем при проведении исследований на более поздних сроках. Наибольшие дозы для плода соответствуют исследованию всего тела с помощью ^{67}Ga-цитрата и достигают 50 мГр при проведении исследования в первые месяцы беременности.

Использование дозы в матке матери для оценки дозы в плоде от вводимого РФЛП не рекомендуется, так как может привести к существенной (до двух раз) недооценке дозы и, соответственно, риска от проводимого исследования.

Поглощенные доз в плоде от КТ-сканирования матери в первом триместре беременности, когда плод полностью находится в зоне сканирования, поглощенная доза в плоде не превышает 14 мГр и снижается при проведении сканирования в более поздние сроки. При сканировании зоны, не захватывающей плод (например, грудная клетка), доза в плоде не превышает 2 мГр, при этом доза в таком случае будет ниже в более ранние сроки беременности, когда размер плода минимален. При сканировании головы или шеи матери доза в плоде – менее 0,1 мкГр за счет удаленности зоны сканирования. Использование функции АМСТ при проведении сканирования беременной пациентке позволяет почти в 2 раза снизить поглощенную дозу в плоде. Поглощенные дозы в плоде при проведении гибридных исследований беременным пациенткам находятся в пределах 20 мГр. Только при исследовании всего тела с ^{67}Ga-цитратом за счет высокой дозы от РФЛП суммарная доза составляет более 50 мГр, что является половиной пороговой дозы для рассмотрения возможности прерывания беременности.

Полученные результаты показали, что при большинстве РНД-исследований возникновение пороков развития у плода от проводимого матери диагностического исследования ниже порога детектирования (ниже фонового уровня реализации данных патологий в популяции). Однако необходимо тщательно оценивать дозы и риски для каждой отдельной пациентки с учетом клинической ситуации и истории рентгенорадиологических исследований.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, поиск литературы, проведение расчетов, анализ полученных результатов, написание текста.

Милованова Е.К. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Звонова И.А. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Водоватов А.В. – анализ литературы, проверка расчетов, редактирование статьи.

Важенина Д.А.– анализ результатов, проведение расчетов, описание результатов.

Станжевский А.А. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

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

Литература

1. ICRP. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84 // Annals of the ICRP. 2000, No 30(1).
2. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. IAEA Safety Standards Series - IAEA, Vienna, 2018. №. SSG-46.
3. Водоватов А.В., Гольченко О.А, Мащенко И.А. и др. Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: https://doi.org/10.17816/DD472150.
4. Applegate K.E., Findlay Ú., Fraser L. et al. Radiation exposures in pregnancy, health effects and risks to the embryo/foetus-information to inform the medical management of the pregnant patient // Journal of Radiological Protection. 2021. Vol. 41, № 4. DOI: 10.1088/1361-6498/ac1c95.
5. U.S. Center for disease control and prevention, 2025. Radiation and Pregnancy: Information for Clinicians. URL: https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/hcp/clinical-guidance/pregnancy.html#cdc_generic_section_1-how-to-use-this-document (Дата обращения: 01.07.2025).
6. Кузнецов П.А., Оленев А.С., Джохадзе Л.С., Селиверстова О.М. Влияние ионизирующего излучения на плод // Российский вестник акушера-гинеколога. 2018. Т. 18, № 5. С. 32–35.
7. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128 // Annals of the ICRP. 2015. № 44(2S).
8. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80 // Annals of the ICRP.1998. № 28 (3).
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53 // Annals of the ICRP. 1988. № 18 (1-4).
10. Palestro C.J., Malat J., Collica C.J. et al. Incidental diagnosis of pregnancy on bone and gallium scintigraphy // Journal of Nuclear Medicine. 1986. Vol. 27. P. 370–372.
11. Baker J., Ali A., Groch M.W. et al. Bone scanning in pregnant patients with breast carcinoma // Clinical Nuclear Medicine. 1987. Vol. 12. P. 519–524.
12. Maguire C., Florence S., Powe J.E. et al. Hepatic uptake of technetium-99m HM-PAO in a fetus // Journal of Nuclear Medicine. 1990.Vol. 31. P. 237–239.
13. Hsieh T.C., Wu Y.C., Sun S.S. et al. FDG PET/CT of a late-term pregnant woman with breast cancer // Clinical Nuclear Medicine. 2012. Vol. 37. P. 489–491.
14. Dong A., Wang Yu., Lu J. et al. Spectrum of the Breast Lesions With Increased 18F-FDG Uptake on PET/CT // Clinical Nuclear Medicine. 2016. Vol. 41, № 7. P. 543-57.
15. Chamroonrat W., Sritara C., Utamakul C. et al. Unexpectedly expected fetal Thyroid function on posttreated radioiodine (131I) SPECT/CT of a patient with differentiated Thyroid cancer // Clinical Nuclear Medicine. 2014. Vol 39. P. 1017–1018.
16. Russell J.R., Stabin M.G., Sparks R.B. et al. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals // Health Physics. 1997. Vol. 73, № 5. P. 756-69.
17. Bebbington N.A., Haddock B.T., Bertilsson H. et al. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics. 2019. Vol. 6. P. 24.
18. Алексеева Д.В., Чипига Л.А., Хуторной И.В. и др. Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 170–184. DOI: https://doi.org/10.17816/DD472150.
19. Fetaldose.org: Оценка дозы облучения плода. URL: https://www.fetaldose.org/calculator.html (Дата обращения: 29.07.2025).
20. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Водоватов А.В. и др. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента // Радиационная гигиена. 2024, Т. 17, № 4. С. 126-134.

Поступила: 16.07.2025

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

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Милованова Елизавета Константиновна– студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0009-0000-8346-2363

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-4340-8666

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей

и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Важенина Дарья Андреевна – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории тераностики онкологических заболеваний Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, доцент ВАК, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-6236-709X

Станжевский Андрей Алексеевич – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-1630-0564

Для цитирования: Чипига Л.А., Милованова Е.К., Звонова И.А., Водоватов А.В., Важенина Д.А., Станжевский А.А. Оценка доз облучения в плоде при проведении радионуклидной диагностики беременным // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 18–28. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-18-28

Fetus doses from radionuclide diagnostic of pregnant patients

Larisa A. Chipiga [1,2,3], Elizaveta K. Milovanova[4], Irina A. Zvonova[1], Aleksandr V. Vodovatov[1,5], Daria A. Vazhenina[2], Andrey A. Stanzhevsky[2]

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

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

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

[4] Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

[5] Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

The aim of the work was to estimate the radiation doses to the fetus during radionuclide diagnostic procedures in pregnant patients. Materials and Methods: The absorbed doses to the fetus due to the radiopharmaceutical administered to the mother during radionuclide diagnostic procedures were estimated for the most common procedures performed in the Russian Federation using the conversion factors from the administered activity of radionuclides in the radiopharmaceutical to the absorbed dose. Typical values of the administered activities of radionuclides for each radiopharmaceutical and the conversion factors taking into account the stage of pregnancy of the patient at which the study was conducted were used. For comparison, the absorbed doses to the mother's uterus, as the closest organ, were determined. For hybrid studies, the absorbed doses to the fetus from maternal CT scans at different stages of pregnancy were calculated in the FetalDose program for typical scanning protocols for adult patients. Results and Discussion: The absorbed doses to the fetus from the administered radiopharmaceutical for most studies do not exceed 20 mGy. In hybrid studies where the CT scan area includes the abdominal region, the CT dose is the largest contributor to the total dose, justifying a scan area limitation or low-dose protocols for whole-body scanning. An exception is the ^{67}Ga-citrate study, where the absorbed dose to the fetus may exceed 50 mGy, with the largest contribution to the dose coming from the maternally administered radiopharmaceutical. Conclusion: The results obtained indicate that for most nuclear medicine procedures, the risks of deterministic effects in the fetus or stochastic effects in the child from the maternal diagnostic examination are minimal. It is advisable to assess doses and risks for each individual patient, taking into account the clinical situation and radiographic history.

Key words: *radionuclide diagnostics, SPECT/CT, PET/CT, pregnant patient, absorbed doses in the fetus, radiopharmaceuticals, computed tomography.*

Authors' personal contribution

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

Milovanova E.K. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

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

Vodovatov A.V. – analysis of literature, calculations verification, editing the draft of the article.

Vazhenina D.A. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Stanzhevsky A.A. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Larisa A. Chipiga
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Sources of funding

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

References

1. ICRP. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84. *Annals of the ICRP.* 2000;30(1).
2. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. IAEA Safety Standards Series - IAEA, Vienna; 2018. №. SSG-46.
3. Vodovatov AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV, Chipiga LA, Khutornoy IV, et al. Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: A systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2): 170-184. (In Russian). DOI**:** 10.17816/DD472150.
4. Applegate KE, Findlay Ú, Fraser L, Kinsella Y, Ainsbury L, Bouffler S. Radiation exposures in pregnancy, health effects and risks to the embryo/foetus-information to inform the medical management of the pregnant patient. *Journal of Radiological Protection*. 2021;41(4). DOI: 10.1088/1361-6498/ac1c95.
5. U.S. Center for disease control and prevention, 2025. Radiation and Pregnancy: Information for Clinicians. Available from: https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/hcp/clinical-guidance/pregnancy.html#cdc_generic_section_1-how-to-use-this-document. [Accessed July 01, 2025].
6. Kuznetsov PA, Olenev AS, Dzhokhadze LS, Seliverstova OM. Impact of ionizing radiation on the fetus. *Rossiyskiy Vestnik Akushera-Ginekologa = Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*. 2018;18(5): 32–35. (In Russian).
7. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Annals of the ICRP*. 2015;44(2S).
8. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals (Addendum to ICRP Publication 53). ICRP Publication 80. *Annals of the ICRP* 1998;28(3).
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Annals of the ICRP*. 1988;18(1-4).
10. Palestro CJ, Malat J, Collica CJ, Richman AH. Incidental diagnosis of pregnancy on bone and gallium scintigraphy. *Journal of Nuclear Medicine.* 1986;27: 370–372.
11. Baker J, Ali A, Groch MW, Fordham E, Economou SG. Bone scanning in pregnant patients with breast carcinoma. *Clinical Nuclear Medicine*. 1987;12: 519–524.
12. Maguire C, Florence S, Powe JE, Zabel PL, Driedger AA, et al. Hepatic uptake of technetium-99m HM-PAO in a fetus. *Journal of Nuclear Medicine.* 1990;31: 237–239.
13. Hsieh TC, Wu YC, Sun SS, Chu LY, Yen KY, Kao CH. FDG PET/CT of a late-term pregnant woman with breast cancer. *Clinical Nuclear Medicine*. 2012;37: 489–491.
14. Dong A, Wang Y, Lu J, Zuo C. Spectrum of the breast lesions with increased 18F-FDG uptake on PET/CT. *Clinical Nuclear Medicine*. 2016;41(7): 543-57.
15. Chamroonrat W, Sritara C, Utamakul C, Kositwattanarerk A, Thamnirat K, Anongpornjossakul Y. Unexpectedly expected fetal thyroid function on posttreated radioiodine (131I) SPECT/CT of a patient with differentiated Thyroid cancer. *Clinical Nuclear Medicine*. 2014;39: 1017–1018.
16. Russell JR, Stabin MG, Sparks RB, Watson E, Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals. *Health Physics*. 1997;73(5): 756-69.
17. Bebbington NA, Haddock BT, Bertilsson H, Hippeläinen E, Husby EM, Tunninen VI, et al. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics*. 2019;6: 24.
18. Vodovatov AV, Chipiga LA, Piven PA, Trufanov GE, Berkovich GV, Mashchenko IA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 126-135. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135.
19. Fetaldose.org: Fetal radiation dose assessment. Available from: https://www.fetaldose.org/calculator.html [Accessed July 29, 2025].
20. Druzhinina PS, Chipiga LA, Vodovatov AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Tolkachev KV. Determination of the conversion coefficients from the dose-length product to the effective dose for CT-examinations of the whole body including lower extremitie. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene.* 2024;17(4): 126-134. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426X-2024-17-4-126-134.

Received: July 16, 2025

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, Research Fellow, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Research Fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; Docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation (8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)
ORCID: 0000-0001-9153-3061

Elizaveta K. Milovanova - Student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0009-0000-8346-2363

Irina A. Zvonova – Doctor of Engineering Sciences, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0003-4340-8666

Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Daria A. Vazhenina – Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher, Head of Laboratory of Theragnostic and Oncology, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-6236-709X

Andrey A. Stanzhevsky – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0002-1630-0564

For citation: Chipiga L.A., Milovanova E.K., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Vazhenina D.A., Stanzhevsky A.A. Fetus doses from radionuclide diagnostic of pregnant patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 18–28. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-18-28

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-29-35
УДК: 616-006:611.81(470.55)

Злокачественные новообразования центральной нервной системы у персонала ПО «Маяк»

Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э.

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озёрск, Челябинская область, Россия

Цель исследования – изучение заболеваемости злокачественными опухолями центральной нервной системы персонала производственного объединения «Маяк». Материал и методы: В работе использованы данные медико-дозиметрического регистра персонала производственного объединения «Маяк» 1948-2016 гг. найма и канцер регистра населения города Озёрска. Проведена оценка стандартизованного отношения показателей заболеваемости среди населения города и персонала производственного объединения «Маяк». Результаты исследования и обсуждение: За период наблюдения с 1948 по 2017 год в городе Озёрске было зарегистрировано 220 случаев злокачественных новообразований центральной нервной системы, из которых 70 случаев приходятся на персонал производственного объединения «Маяк», включенный в медико-дозиметрический регистр (57 случаев среди мужчин персонала, 13 – среди работниц). В структуре исследуемых злокачественных новообразований преобладали злокачественные опухоли головного мозга (87,1 %), наиболее часто поражения затрагивали несколько областей головного мозга (28,5 %) и височную область (14,3 %). До 1960 года среди мужчин персонала не было зафиксировано случаев злокачественных опухолей центральной нервной системы, а до 1980 года такие случаи не регистрировались среди женщин персонала. Стандартизованное по возрасту отношение показателей заболеваемости злокачественными опухолями центральной нервной системы среди персонала производственного объединения «Маяк» и населения города Озёрска у мужчин составило 1,00 (95 % ДИ: 0,76; 1,29), у женщин – 0,91 (95 % ДИ: 0,48; 1,56). Полученные оценки оказались статистически не отличающимися от единицы, что свидетельствует об отсутствии различий в уровнях заболеваемости населения г. Озёрска в целом и персонала производственного объединения «Маяк» как его части. Заключение: Результаты исследования подтверждают ранее полученные данные об отсутствии влияния производственного радиационного фактора на заболеваемость злокачественными новообразованиями центральной нервной системы населения города Озёрска, включая персонал производственного объединения «Маяк».

Ключевые слова: *злокачественные опухоли центральной нервной системы, заболеваемость, персонал, медико-дозиметрический регистр, радиационный фактор, ионизирующее облучение.*

Введение

На протяжении последних десятилетий в Российской Федерации (РФ) наблюдается постоянный рост заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО). Основные причины роста онкологической заболеваемости связаны с продолжающимся процессом старения населения (удельный вес пенсионеров с 1959 по 2020 годы возрос с 11,8 до 26 %), внедрением новых методов диагностики и мероприятий, направленных на раннее выявление онкозаболеваний [1]. В РФ опухоли головного и спинного мозга занимают ведущее место по темпам роста заболеваемости среди всех локализаций опухолей. Однако в общей структуре онкологической заболеваемости первичные злокачественные опухоли центральной нервной системы (ЦНС) не занимают лидирующих позиций [2].

Данные о влиянии высоких доз ионизирующего излучения на центральную нервную систему человека указывают на повышение риска развития злокачественных новообразований [3, 4, 5]. В частности, выявлен радиогенный риск для развития опухолей ЦНС у лиц, переживших атомную бомбардировку в Японии [6, 7, 8]. В ранее проведенной работе было получено статистически значимое превышение показателей заболеваемости у населения города Озёрска в период с 1980 по 1999 год по сравнению с национальными данными [9]. Поэтому исследование показателей заболеваемости опухолями ЦНС среди населения г. Озёрска, подвергающегося техногенному облучению, и работников основных предприятий ПО «Маяк», является важным этапом установления количественных оценок связи показателей с радиационным фактором.

Цель исследования – изучение заболеваемости злокачественными опухолями центральной нервной системы у работников ПО «Маяк» 1948–2016 годов найма.

Материалы и методы

Исследуемым контингентом являются работники ПО «Маяк», включенные в медико-дозиметрический регистр персонала. Регистр персонала ПО «Маяк» (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020620210) содержит кадровые, дозиметрические и медицинские данные на более чем 35 тысяч работников ПО «Маяк» (25,4 % –

Денисова Елена Владимировна
Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики
Адрес для переписки: 456783, Челябинская область, Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: denisova@subi.su

женщины), нанятых в период с 1948 по 2016 годы. Период эпидемиологического наблюдения составляет более 70 лет (до 31.12.2017). Для 95,2 % лиц установлен жизненный статус. Более половины от числа лиц с установленным жизненным статусом умерли от различных причин, из них 24 % – от онкологических заболеваний. Доля лиц с данными индивидуального дозиметрического контроля составляет 65,7 % от общего числа лиц в регистре, а количество лиц с данными об измерениях активности радионуклидов, главным образом ^{239}Pu в экскретах, и последующей интерпретации результатов и оценки доз внутреннего альфа-облучения – 22,0 % [10]. По данным специалистов ПО «Маяк», повышение радиационного фона на территории города в ранние годы деятельности предприятия было обусловлено неконтролируемыми газоаэрозольными выбросами. Основным дозообразующим радионуклидом был ^{131}I. Авария 1957 г. не внесла существенного вклада в дозу, поскольку радиоактивный след миновал город, расположенный с наветренной стороны (строительство города велось с учетом розы ветров). С 1962 г. осуществлялся регулярный контроль радиоактивных выбросов. С 1974 г. и по настоящее время в городе регистрируется стабильная радиационная обстановка [11].

Данные о заболеваниях ЗНО содержатся в канцер регистре населения г. Озёрска. Основная информация о случаях новообразований ЦНС населения г. Озёрска, включая работников ПО «Маяк», получена из архивных документов лечебно-профилактических подразделений клинической больницы № 71 ФМБА России. Кроме того, источниками информации служили документы отдела ЗАГС Озёрска и медицинских учреждений областного центра (г. Челябинск).

В исследование были включены все зарегистрированные случаи ЗНО головного мозга и других отделов центральной нервной системы, закодированные по МКБ-10 в рубриках С70 – ЗНО мозговых оболочек, С71 – ЗНО головного мозга, С72 – ЗНО спинного мозга, черепных нервов и других отделов ЦНС.

Сравнительный анализ заболеваемости ЗНО ЦНС среди персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска проведен на основании частоты заболеваний. В случае оценки заболеваемости в популяции за период времени (несколько лет) показатель определялся как отношение накопленного количества случаев (сл) к сумме человеко-лет нахождения индивидуумов под наблюдением (чг).

$$ПЗ = \sum \frac{сл_i}{чг_i},$$

$$СО_{ПЗ} = \frac{ПЗ}{\sqrt{сл}} \text{ или } СО_{ПЗ} = \frac{ПЗ \cdot (1 - ПЗ)}{чг},$$

где ПЗ – грубый показатель заболеваемости;

i – индекс возрастной группы;

$сл_i$ – количество случаев исследуемого заболевания в *i*-й возрастной группе;

$чг_i$ – количество человеко-лет наблюдения в *i*-й возрастной группе;

СО – стандартная ошибка показателя.

Для расчета человеко-лет наблюдения населения г. Озёрска использовались данные городской статистики о численности населения г. Озёрска на годы переписи (1959, 1970, 1979, 1989 гг.), для более позднего периода, начиная с 1990 года, данные представлены ежегодными величинами. Поскольку отсутствуют сведения о численности населения до 1959 года, было принято, что численность и структура не менялись с 1948 по 1959 год.

Для расчета человеко-лет наблюдения персонала ПО «Маяк» использовались данные о пожизненном наблюдении за здоровьем лиц, включенных в регистр персонала. Период наблюдения за работником начинался в момент его найма на ПО «Маяк» и заканчивался при наступлении одного из следующих событий:

– выбытие из-под наблюдения (выезд из города или смерть);
– установление диагноза первого ЗНО;
– окончание наблюдения (31.12.2017).

Ограничение периода наблюдения годом выезда из города связано с отсутствием в регистре полной информации об онкологических заболеваниях, зарегистрированных при проживании человека вне г. Озёрска. В то же время на лиц, проживавших в городе в момент постановки диагноза, в регистре собраны все данные, включая информацию из медицинских учреждений, расположенных в других населенных пунктах.

Сравнение показателей проводилось на основании стандартизованного по возрасту отношения [12]. Для оценки статистической значимости различий оценивались границы 95 % доверительного интервала (ДИ) отношения в соответствии с формулами N.E. Breslow [13]. Стандартизованное отношение рассчитывалось отдельно для мужчин и женщин и для отдельных периодов наблюдения.

Результаты

За период наблюдения с 1948 по 2017 год у населения г. Озёрска было зарегистрировано 220 случаев ЗНО ЦНС, в том числе 70 случаев среди персонала ПО «Маяк» (табл. 1).

Таблица 1

Количество случаев ЗНО ЦНС среди населения г. Озерска и персонала ПО «Маяк» в период наблюдения с 1948 по 2017 гг.

[Table 1

Number of cases of malignant neoplasms of the central nervous system among the population of Ozyorsk and the personnel of the Mayak Production Association during the observation period from 1948 to 2017]

Пол [Sex]	Кол-во случаев ЗНО ЦНС среди населения (доля) [Number of cases of CNS malignant neoplasms among the population (portion)]	Кол-во случаев ЗНО ЦНС среди персонала (доля) [Number of cases of CNS malignant neoplasms among staff (portion)]
Мужчины [Male]	125 (56,8 %)	57 (81,4 %)
Женщины [Female]	95 (43,2 %)	13 (18,6 %)
Всего [Total]	220 (100 %)	70 (100 %)

Как среди всего населения, так и среди персонала ПО «Маяк» в структуре злокачественных опухолей ЦНС наиболее часто встречаются случаи неоплазм головного мозга. Среди опухолей ЦНС персонала ПО «Маяк» опухоли головного мозга составляют 87,1 % (61случай), опухоли оболочек головного и спинного мозга – 11,4 % (8 случаев) и 1,4 % – опухоли спинного мозга (один случай). При детализации локализации не выявлено особенностей у работников

ПО «Маяк»: ЗНО ЦНС среди персонала чаще регистрировались как поражение, выходящее за пределы одной и более вышеуказанных локализаций головного мозга, – 28,5 % (20 случаев); второй часто встречающейся локализацией опухолевого процесса была височная доля – 14,3 % (10 случаев).

Морфологическая верификация диагноза была доступна в 83 % (182 случая) среди всего населения города, в том числе в 80 % (56 случаев) среди персонала ПО «Маяк». При этом 84 % (153 случая) среди населения и 86 % (48 случаев) среди персонала представлено опухолями, относящимися к группе злокачественных нейроэпителиальных опухолей. Из них на самую злокачественную опухоль – глиобластому – пришлось около половины случаев как среди населения (53 %), так и среди персонала (50 %).

У персонала ПО «Маяк» мужского пола количество случаев больше, чем у женщин (~ 4,4 : 1), у населения это соотношение меньше (1,3 : 1), что связано в первую очередь с преобладанием мужчин во всей когорте персонала (75 %) (табл. 1).

Среди мужчин из персонала ПО «Маяк» не было зарегистрировано случаев заболевания ЗНО ЦНС до 1960 г. С 60-х годов отмечается практически двукратный рост «грубого» показателя по двадцатилетним интервалам ($3{,}9\,^{0}/_{0000}$ – $7{,}9^{0}/_{0000}$ – $13{,}9^{0}/_{0000}$ соответственно). Среди женщин, работниц ПО «Маяк», до 1980 г. не было зарегистрировано ни одного случая ЗНО ЦНС. С 1980-х до 2000-х годов показатель вырос в два раза. В целом за весь период наблюдения показатель заболеваемости у мужчин персонала составил $7{,}5^{0}/_{0000}$, у работниц ПО «Маяк» – $4{,}6^{0}/_{0000}$ (табл. 2).

Таблица 2

«Грубый» показатель заболеваемости ЗНО ЦНС среди персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска в различные календарные периоды, (случаев на 10^5 человеко-лет)

[Table 2

Non-standardized incidence rate of CNS malignant neoplasms among the personnel of the Mayak Production Association and the population of Ozyorsk in various calendar periods (cases per 10^5 person-years)]

Периоды наблюдения [Observation periods]	1948–2017	До 1960	1960–1979	1980–1999	2000–2017
Мужчины [Male]					
Все население [The entire population]	5,4 ± 0,5	0,3 ± 0,3	4,1 ± 0,8	6,0 ± 0,9	8,1 ± 1,1
Персонал ПО «Маяк» [Personnel of PA "Mayak"]	7,5 ± 0,6	–	3,9 ± 0,8	7,9 ± 1,0	13,9 ± 1,4
Женщины [Female]					
Все население [The entire population]	3,7 ± 0,4	1,3 ± 0,7	2,1 ± 0,6	4,8 ± 0,8	4,7 ± 0,8
Персонал ПО «Маяк» [Personnel of PA "Mayak"]	4,6 ± 0,4	–	–	5,1 ± 0,8	10,5 ± 1,1

Показатель заболеваемости ЗНО ЦНС среди мужчин персонала ПО «Маяк» достигших возраста 60 и более лет на момент установления диагноза, в три раза превышает показатель для лиц трудоспособного возраста. У женщин в аналогичных возрастных категориях разница в уровнях заболеваемости составляет почти пять раз (табл. 3).

Таблица 3

Показатель заболеваемости отдельных возрастных групп среди персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска (случаев на 10^5 человеко-лет)

[Table 3

Morbidity rate of individual age groups among the personnel of the Mayak Production Association and the population of Ozyorsk (cases per 10^5 person-years)]

Возраст на момент постановки диагноза [Age at diagnosis]	Все население [The entire population]		Персонал ПО «Маяк» [Personnel of PA "Mayak"]	
	Мужчины [Male]	Женщины [Female]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
Работоспособное население (20–60 лет) [Working age population (20–60 years)]	4,5 ± 0,5	2,9 ± 0,4	5,8 ± 0,95	2,4 ± 1,06
Пожилые (60 и более лет) [Elderly (60 years and older)]	20,3 ± 3,2	9,3 ± 1,5	19,6 ± 4,4	11,6 ± 4,1

За весь период наблюдения стандартизованное по возрасту отношение показателей заболеваемости ЗНО ЦНС персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска у мужчин составило 1,00 (95 % ДИ: 0,76; 1,29), у женщин 0,91 (95 % ДИ: 0,48; 1,56) (табл. 4). Все полученные оценки оказались статистически не отличающимися от единицы, что указывает на отсутствие различий в показателях заболеваемости. Самые высокие оценки отношений показателей персонала

и населения отмечены в последний период наблюдения (2000–2017 гг.) как у мужчин 1,17 (95 % ДИ: 0,77; 1,70), так и у женщин – 1,58 (95 % ДИ: 0,68; 3,12) соответственно. До 2000 г. стандартизованный по возрасту показатель среди мужчин работников ПО «Маяк» оказался приблизительно на 15 % ниже, чем среди населения. Так, в период с 1960 по 1979 год оценка составила 0,86 (95 % ДИ: 0,39; 1,64), с 1980 по 1999 год – 0,85 (95 % ДИ: 0,53; 1,30). В период 1980 – 1999 гг. среди работниц ПО «Маяк» заболеваемость составила 64 % (95 % ДИ: 21 %; 149 %) от показателя для всех женщин г. Озерска.

Таблица 4

Стандартизованное по возрасту отношение показателей заболеваемости ЗНО ЦНС персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска (95 % ДИ)

[Table 4

Age-standardized ratio of incidence rates of malignant neoplasms of the central nervous system among the personnel of the Mayak Production Association and the population of Ozyorsk (95 % CI)]

Период наблюдения [Observation period]	Мужчины [Male]	Женщины [Female]
1948 – 2017 гг.	1,00 (0,76; 1,29)	0,91 (0,48; 1,56)
До 1960 г.	0	0
1960 – 1979 гг.	0,86 (0,39; 1,64)	0
1980 – 1999 гг.	0,85 (0,53; 1,30)	0,64 (0,21; 1,49)
2000 – 2017 гг.	1,17 (0,77; 1,170)	1,58 (0,68; 3,12)

Обсуждение

Единственным установленным негенетическим фактором риска развития опухолей головного мозга на сегодняшний день является облучение ионизирующим излучением в умеренных и высоких дозах, что подтверждено исследованиями лиц, выживших после атомной бомбардировки в Японии [6, 7, 8, 14] и исследованиями детей, которым проводилась лучевая терапия при остром лимфобластном лейкозе и других видах рака, и при лечении нераковых заболеваний (стригущий лишай, гемангиомы) [4, 14].

Что касается эффектов хронического облучения, то исследования по оценке зависимости частоты ЗНО ЦНС от накопленной дозы внешнего гамма-излучения проводились в когортах работников атомной промышленности [15, 16, 17, 18], в когорте ликвидаторов ЧАЭС [19]. В работах [15, 16, 17] проводилось изучение когорты персонала ПО «Маяк» 1948-1982 гг. найма с периодом наблюдения до 31.12.2004, 31.12.2017 и 31.12.2018 соответственно. Не найдено свидетельства влияния хронического профессионального облучения на показатели заболеваемости первичными опухолями ЦНС. Стоит отметить, что в [17] рассматривались как доброкачественные, так и ЗНО.

Аналогичные работы проводились и среди персонала атомной промышленности Великобритании. Исследование [18] проведено в когорте численностью 174541 человек, наблюдение ограничено 31.12.2001 г., учтены доброкачественные и злокачественные опухоли. Не было установлено статистически значимого тренда заболеваемости опухолями головного мозга в зависимости от дозы внешнего облучения (ИОР/Гр = -0,882 (95 % ДИ: -1,56; 0,69).

В когорте численностью 55718 ликвидаторов аварии на ЧАЭС, участвовавших в работах в 1986 – 1987 гг., проживающих на территории РФ с 1991 по 2001 год, также не было выявлено статистически значимого избыточного риска опухолей головного мозга и других отделов ЦНС [19].

В нашей предыдущей работе [9] было показано статистически значимое превышение уровня заболеваемости ЗНО ЦНС в г. Озёрске по сравнению с национальными данными как для мужчин (на 90 %), так и для женщин (на 100 %) за период с 1980 по 1999 гг. (мужчины: СОР = 1,9; 95 % ДИ: 1,3 – 2,5; женщины: СОР = 2,0; 95 % ДИ: 1,4 – 2,7). В период 2000 – 2017 гг. у мужчин заболеваемость не отличалась от национальных (СОР = 1,2; 95 % ДИ: 0,9 – 1,6) и региональных значений (СОР = 1,2; 95 % ДИ: 0,9 – 1,5). По сравнению с областным центром частота ЗНО ЦНС у женщин была статистически значимо ниже на 30 % (СОР = 0,7; 95 % ДИ: 0,5 – 0,9) и незначимо (на 20 %) отличалась от данных по РФ (СОР = 0,8; 95 % ДИ: 0,6 – 1,1).

Стоит отметить, что для населения г. Озёрска анализ проводился на основании ограниченной информации о численности населения, что в предыдущих работах рассматривалось как потенциальный фактор смещения полученных оценок [9]. Для персонала ПО «Маяк» анализ проводился на основании данных медико-дозиметрического регистра, специально разработанного для долговременных эпидемиологических исследований, что существенно увеличивает надежность данных о численности и распределении человеко-лет наблюдения. Отсутствие различий в показателях заболеваемости за весь период наблюдения среди персонала и населения города свидетельствует о том, что фактор ограниченности данных о численности населения города, по-видимому, не имеет существенного значения.

Полученные в этой работе результаты сравнительного анализа показателей заболеваемости ЗНО ЦНС персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска свидетельствуют об отсутствии различий. С учетом сравнения показателей мужского населения г. Озёрска с данными РФ можно сделать вывод о том, что показатели среди персонала превышают национальные данные. Статистика ЗНО ЦНС среди женщин работниц ПО «Маяк» мала, в связи со значительно меньшей численностью женщин, работавших на ПО «Маяк», которые составили лишь четверть от общего количества лиц, включенных в регистр персонала. Полуторакратные отличия в показателях заболеваемости женщин могут быть объяснены именно этим фактом.

Таким образом, по нашему мнению, основной причиной различий заболеваемости населения г. Озёрска и РФ является качество сбора и учета данных. Проведение сбора данных по изучению заболеваемости ЗНО ЦНС у населения г. Озёрска за столь длительный период стало возможным благодаря архивным документам и существующим базам канцер регистра и медико-дозиметрического регистра, которые были созданы и сейчас поддерживаются в отделе радиационной эпидемиологии Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики. Используя эти архивные данные, были верифицированы случаи заболевания и/или смерти от ЗНО ЦНС, начиная с 1948 года. Недаром практически все исследования по изучению заболеваемости и смертности от опухолей ЦНС проводятся либо на базе архивов нейрохирургических отделений, либо же на базе раковых регистров (Санкт-Петербурга, Архангельска и регистра СЗФО) [20, 21]. Еще хочется отметить и такой факт, который несомненно вносит определенные трудности и отражается в результатах исследования, как посмертно установленные диагнозы. Специфика города накладывает определенные обязательства на проведение

патолого-анатомического исследования, которые на «большой» земле при всём равенстве медицинской информации могли и не проводиться в ряде случаев. Этот вопрос мы попытаемся более подробно изучить в наших последующих работах.

Заключение

На основе собранной информации о 220 случаях первичных злокачественных опухолей ЦНС среди населения г. Озёрска за период 1948 – 2017 гг., в том числе 70 случаев злокачественных опухолей среди персонала ПО «Маяк», показано, что работа на ПО «Маяк», т.е. производственные факторы, основным из которых является воздействие ионизирующего излучения, не вносят статистически значимый вклад в заболеваемость ЗНО ЦНС.

Близкие к единице значения стандартизованного по возрасту отношения показателей заболеваемости среди мужчин персонала ПО «Маяк» и населения г. Озёрска подтверждают ранее полученные результаты об отсутствии влияния производственного фактора на заболеваемость ЗНО ЦНС. Большая вариабельность результатов у женщин обусловлена их меньшим вкладом в численность работников предприятия.

Таким образом, нет оснований предполагать, что причиной ранее выявленных среди населения г. Озёрска более высоких относительно национальных популяционных показателей заболеваемости ЗНО ЦНС в РФ является производственный радиационный фактор.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Денисова Е.В. – подготовка черновика рукописи, сбор данных, анализ и интерпретация результатов.

Кузнецова И.С. – статистический анализ данных, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Сокольников М.Э. – концепция и дизайн исследования, окончательное утверждение публикуемой версии рукописи.

Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование проведено в рамках выполнения прикладной научно-исследовательской работы «Техногенное облучение и его отдаленные медицинские последствия» (шифр «Последствия-2025») на основании Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2035 года».

Литература

1. Мерабишвили В.М. Состояние онкологической помощи в России: эпидемиология и выживаемость больных злокачественными новообразованиями (однолетняя и пятилетняя) по всем локализациям опухолей. Влияние пандемии коронавируса (популяционное исследование) // Злокачественные опухоли. 2023. Т. 13, № 3s1, С 85–96. DOI: 10.18027 /2224-5057-2023-13-3s1-85-96.
2. Злокачественные новообразования в России в 2015 году (Заболеваемость и смертность) / под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Петровой Г.В. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017. 250 с.
3. Amirian E.S., Ostrom Q.T., Liu Y. et al. Nervous system. In: Thun M., ed. Cancer epidemiology and prevention. 4th ed. Online edition. New York: Oxford Academic, 2017. DOI: 10.1093/oso/9780190238667.003.0056.
4. Karlsson P., Holmberg E., Lundell M. et al. Intracranial tumors after exposure to ionizing radiation during infancy: a pooled analysis of two Swedish cohorts of 28,008 infants with skin hemangioma // Radiation Research. 1998. Vol. 150, No 3. P. 357-364.
5. Sadetzki S., Chetrit A., Freedman L. et al. Long-term follow-up for brain tumor development after childhood exposure to ionizing radiation for tinea capitis // Radiation Research. 2005. Vol. 163, No 4. P. 424-432. DOI: 10.1667/rr3329.
6. Preston D.L., Ron E., Yonehara S. et al. Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure // Journal of the National Cancer Institute. 2002. Vol. 94, No 20. P. 1555-1563. DOI: 10.1093/jnci/94.20.1555.
7. Shintani T., Hayakawa N., Hoshi M. et al. High incidence of meningioma among Hiroshima atomic bomb survivors // Radiation Research. 1999. Vol. 40, No 1. P. 49-57. DOI: 10.1269/jrr.40.49.
8. Brenner A.V., Sugiyama H., Preston D.L. et al. Radiation risk of central nervous system tumors in the Life Span Study of atomic bomb survivors, 1958—2009 // European Journal of Epidemiology. 2020. Vol. 35, No 6. P. 591-600. DOI: 10.1007/s10654-019-00599-y .
9. Денисова Е.В., Кузнецова, Сокольников М.Э. Заболеваемость злокачественными новообразованиями центральной нервной системы в г. Озёрске // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2023. Т. 6, № 12. С. 43–49. DOI: 10.17116/onkolog20231206143.
10. Сокольников М.Э., Кабирова Н.Р., Окатенко П.В. и др. Медико-дозиметрический регистр персонала производственного объединения "Маяк": состояние и перспективы // Вопросы радиационной безопасности. 2023. № 3(111). С. 42-55.
11. Дрожко Е.Г., Хохряков В.В. Облучение жителей города Челябинск-65, связанное с выбросами в атмосферу ^{131}I // Радиация и риск. 1995. № 5. С. 159–162.
12. Dos Santos Silva I. Cancer epidemiology: principles and methods. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1999. 442p.
13. Breslow N.E., Day N.E. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II – The Design and Analysis of Cohort Studies. IARC Scientific Publications № 82, International Agency for Research on Cancer, Lyon, 120-162.
14. Braganza M.Z., Kitahara C.M., Berrington de González A. et al. Ionizing radiation and the risk of brain and central nervous system tumors: a systematic review // Journal of Neuro-Oncology . 2012. Vol. 14, No 11. P. 1316-24. DOI: 10.1093/neuonc/nos208.
15. Hunter N., Kuznetsova I.S., Labutina E.V., Harrison J.D. Solid cancer incidence other than lung, liver and bone in Mayak workers: 1948-2004. British Journal of Cancer. 2013. Vol. 109, No 7. P. 1989-96. DOI: 10.1038/bjc.2013.543.
16. Сокольников М.Э., Кошурникова Н.А., Юркин А.М. и др. Заболеваемость солидными раками (без учёта раков лёгкого, печени и скелета) в когорте работников ПО "Маяк", 1948 – 2017 гг. // Вопросы радиационной безопасности. 2021. №3 (103). С. 56–71.
17. Мосеева М.Б., Азизова Т.В., Банникова М.В. Заболеваемость и смертность от опухолей центральной нервной системы в когорте работников, подвергшихся хроническому облучению // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67, № 4. С. 42–48. DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67- 4-42-48.
18. Muirhead C.R., O'Hagan J.A., Haylock R.G. et al. Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers // British Journal of Cancer. 2009. Vol. 100. P. 206-212. DOI: 10.1038/sj.bjc.6604825.
19. Ivanov V.K., Gorskiy A.I., Tsyb A.F. et al. Solid cancer incidence among the Chernobyl emergency workers residing in Russia: estimation of radiation risks // Radiation and Environmental Biophysics. 2004. Vol. 43. P. 35–42. DOI: 10.1007/s00411-003-0223-6.
20. Дяченко А.А., Субботина А.В., Измайлов Т.Р. и др. Первичные злокачественные новообразования центральной нервной системы в Архангельской области: структура и динамика эпидемиологических показателей в

2000-2011 гг. // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. 2013. № 13 (1). С. 1-27.

21. Мерабишвили В.М., Дяченко А.А., Вальков М.Ю. и др. Эпидемиология злокачественных новообразований головного мозга и других отделов ЦНС в Северо-западном Федеральном округе России // Вопросы онкологии. 2014. Т. 60, № 1. С. 32-40.

Поступила: 20.06.2025

Денисова Елена Владимировна – младший научный сотрудник отдела радиационной эпидемиологии Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 456783, Челябинская область, Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: denisova@subi.su
ORCID: 0000-0002-6262-0067

Кузнецова Ирина Сергеевна – кандидат биологических наук, главный научный сотрудник (курирующая вопросы науки и инновационного развития) Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озёрск, Россия
ORCID: 0000-0002-1214-295X

Сокольников Михаил Эдуардович – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела радиационной эпидемиологии Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Озёрск, Россия
ORCID: 0000-0001-9492-4316

Для цитирования: Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э. Злокачественные новообразования центральной нервной системы у персонала ПО «Маяк» // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 29–35. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-29-35

Malignant neoplasms of the central nervous system of the PA Mayak personnel

Elena V. Denisova, Irina S. Kuznetsova, Mikhail E. Sokolnikov

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, Russia

The objective is to study the incidence of malignant tumors of the central nervous system of the personnel of the Mayak production association. Material and Methods: The study used data from the medical and dosimetric personnel register of the "Mayak" production association personnel hired in 1948-2016 and the cancer population register of the city of Ozyorsk. An assessment of the standardized ratio of morbidity rates among the city's population and the staff of the Mayak production association was carried out. Results and Discussion: During the follow-up period from 1948 to 2017, 220 cases of malignant neoplasms of the central nervous system were registered in the city of Ozyorsk, of which 70 cases were among the Mayak production association workers included in the medical dosimetric register (57 cases among male staff, 13 among female employees). Malignant brain tumors prevailed in the structure of the studied lesions (87.1 %), the most common lesions affected several areas of the brain (28.5 %) and the temporal lobe (14.3 %). No cases of malignant tumors of the central nervous system were recorded among male staff until 1960, and until 1980 among female staff. The age-standardized ratio of the incidence of malignant tumors of the central nervous system among the staff of Mayak and the population of Ozyorsk in men was 1.00 (95 % CI: 0.76; 1.29), in women – 0.91 (95 % CI: 0.48; 1.56). The estimates obtained turned out to be statistically indistinguishable from the unit, which indicates that there are no differences in the incidence rates of the population of Ozyorsk as a whole and the staff of the Mayak production association as a part of it. Conclusion: The results of the study confirm the previously obtained data on the absence of the influence of the occupational radiation factor on the incidence of malignant neoplasms of the central nervous system of the population of the city of Ozyorsk, including the staff of Mayak production association.

Key words: *malignant tumors of the central nervous system, morbidity, personnel, medical dosimetric registry, radiation factor, ionizing radiation.*

Authors' personal contribution

Denisova E.V. – preparation of the draft of the manuscript, data collection, analysis and interpretation of the results.

Kuznetsova I.S. – statistical data analysis, critical revision with the introduction of valuable intellectual content.

Sokolnikov M.E. – research concept and design, final approval of the published version of the manuscript.

All the authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interest.

Sources of funding

The study was conducted as part of the applied research work

Elena V. Denisova
Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics
Address for correspondence: 19, Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456783, Russia; E-mail: denisova@subi.su

"Anthropogenic radiation and its long-term medical consequences" (code "Consequences-2025") on the basis of the Federal Target Program "Ensuring Nuclear and Radiation Safety for 2016-2020 and for the period up to 2035".

References

1. Merabishvili VM. The state of oncological care in Russia: epidemiology and survival of patients with malignant neoplasms (one-year and five-year) for all tumor localizations. Impact of the coronavirus pandemic (population study). *Zlokachestvennye opukholi = Malignant tumors*. 2023;13(3s1): 85-96. (In Russian). DOI: 10.18027 /2224-5057-2023-13-3s1-85-96.
2. Malignant neoplasms in Russia in 2015 (Morbidity and mortality). Eds. Kaprin AD, Starinsky VV, Petrova GV. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute - branch of the Federal State Budgetary Institution "NMIRC" of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2017. 250 p. (In Russian).
3. Amirian ES, Ostrom QT, Liu Y, Barnholtz-Sloan J, Bondy ML. Nervous system. In: Thun M., ed. Cancer epidemiology and prevention. 4th ed. Online edition. New York: Oxford Academic; 2017. DOI: 10.1093/oso/9780190238667.003.0056.
4. Karlsson P, Holmberg E, Lundell M, Mattsson A, Holm LE, Wallgren A. Intracranial tumors after exposure to ionizing radiation during infancy: a pooled analysis of two Swedish cohorts of 28,008 infants with skin hemangioma. *Radiation Research*. 1998;150(3): 357-364.
5. Sadetzki S, Chetrit A, Freedman L, Stovall M, Modan B, Novikov I. Long-term follow-up for brain tumor development after childhood exposure to ionizing radiation for tinea capitis. *Radiation Research*. 2005;163(4): 424-432. DOI: 10.1667/rr3329.
6. Preston DL, Ron E, Yonehara S, Kobuke T, Fujii H, Kishikawa M, et al. Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure. *Journal of the National Cancer Institute*. 2002;94(20): 1555-1563. DOI: 10.1093/jnci/94.20.1555.
7. Shintani T, Hayakawa N, Hoshi M, Sumida M, Kurisu K, Oki S, et al. High incidence of meningioma among Hiroshima atomic bomb survivors. *Radiation Research*. 1999;40(1): 49-57. DOI: 10.1269/jrr.40.49.
8. Brenner AV, Sugiyama H, Preston DL, Sakata R, French B, Sadakane A, et al. Radiation risk of central nervous system tumors in the Life Span Study of atomic bomb survivors, 1958—2009. *European Journal of Epidemiology*. 2020;35(6): 591-600. DOI: 10.1007/s10654-019-00599-y.
9. Denisova EV, Kuznetsova IS, Sokolnikov ME. Incidence of malignant neoplasms of the central nervous system in Ozersk. *Onkologiya. Zhurnal imeni P.A. Gertsena = Oncology. Journal named after P.A. Herzen*. 2023;6(12): 43-49. (In Russian). DOI: 10.17116/onkolog20231206143.
10. Sokolnikov ME, Kabirova NR, Okatenko PV, Koshurnikova NA, Tsareva YuV, Martinenko IA, et al. Medical and dosimetric register of personnel of the Mayak production association: status and prospects. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Issues*. 2023;3(111): 42-55. (In Russian).
11. Drozhko EG, Khokhryakov VV. Irradiation of residents of the city of Chelyabinsk-65 associated with emissions into the atmosphere of ^{131}I. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk.* 1995;5: 159–162. (In Russian).
12. Dos Santos Silva I. Cancer epidemiology: principles and methods. Lyon: International. Agency for Research on Cancer; 1999. 442 p.
13. Breslow NE, Day NE. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II – The Design and Analysis of Cohort Studies. IARC Scientific Publications № 82, International Agency for Research on Cancer, Lyon; 120-162.
14. Braganza MZ, Kitahara CM, Berrington de González A, Inskip PD, Johnson KJ, Rajaraman P. Ionizing radiation and the risk of brain and central nervous system tumors: a systematic review. *Journal of Neuro-Oncology*. 2012;14(11): 1316-24. DOI: 10.1093/neuonc/nos208.
15. Hunter N, Kuznetsova IS, Labutina EV, Harrison JD. Solid cancer incidence other than lung, liver and bone in Mayak workers: 1948-2004. *British Journal of Cancer*. 2013;109(7): 1989-1996. DOI: 10.1038/bjc.2013.543.
16. Sokolnikov ME, Koshurnikova NA, Yurkin AM, Martinenko IA, Denisova EV, Tsareva YuV, et al. Incidence of solid cancers (excluding lung, liver, and skeletal cancers) in a cohort of workers at the Mayak Production Association, 1948–2017 *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation Safety Issues*. 2021;3(103): 56–71. (In Russian).
17. Moseeva MB, Azizova TV, Bannikova MV. Morbidity and mortality from tumors of the central nervous system in a cohort of workers exposed to chronic radiation. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2022;67(4): 42–48. (In Russian). DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-42-48.
18. Muirhead CR, O'Hagan JA, Haylock RG, Phillipson MA, Willcock T, Berridge GL, et al. Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *British Journal of Cancer*. 2009;100: 206-212. DOI: 10.1038/sj.bjc.6604825.
19. Ivanov VK, Gorskiy AI, Tsyb AF, Ivanov SI, Naumenko RN, Ivanova SI. Solid cancer incidence among the Chernobyl emergency workers residing in Russia: estimation of radiation risks. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2004;43(1): 35–42. DOI: 10.1007/s00411-003-0223-6.
20. Dyachenko AA, Subbotina AV, Izmailov TR, Gluhareva NA, Krasilnikov AV, Grzhibovskij AM, et al. Primary malignant neoplasms of the central nervous system in the Arkhangelsk region: structure and dynamics of epidemiological indicators in 2000-2011. *Vestnik Rossijskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii = Bulletin of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology*. 2013;13(1): 1-27. (In Russian).
21. Merabishvili VM, Dyachenko AA, Valkov MYu, Krasilnikov AV. Epidemiology of malignant neoplasms of the brain and other parts of the central nervous system in the Northwestern Federal District of Russia. *Voprosy onkologii=Issues of Oncology*. 2014;60(1): 32-40. (In Russian).

Received: June 20, 2025

For correspondence: Elena V. Denisova – Junior Researcher, Department of Epidemiology, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency (19, Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk Region, 456783, Russia; E-mail: denisova@subi.su)

ORCID: 0000-0002-6262-0067

Irina S. Kuznetsova – Candidate of Biological Science, Senior Research Fellow, Deputy Director of Department of Epidemiology, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

ORCID: 0000-0002-1214-295X

Mikhail E. Sokolnikov – Doctor of Medical Sciences, Head of Department of Epidemiology, Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Ozyorsk, Russia

ORCID: 0000-0001-9492-4316

For citation: Denisova E.V., Kuznetsova I.S., Sokolnikov M.E. Malignant neoplasms of the central nervous system of the PA Mayak personnel. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 29–35. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-29-35

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-36-45
УДК: 614.876:576.316(470.55)

Динамика частоты нестабильных хромосомных обменов в лимфоцитах у жителей Уральского региона, подвергшихся хроническому радиационному воздействию

Ахмадуллина Ю.Р., Кривощапова Я.В.

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

В середине XX века жители Уральского региона подвергались хроническому облучению в широком диапазоне доз в результате сброса жидких радиоактивных отходов в реку Течу. Целью работы явилось изучение динамики частоты нестабильных хромосомных обменов в лимфоцитах у жителей прибрежных сел реки Течи, подвергшихся хроническому радиационному воздействию. Динамику исследовали в период с 1970-х годов по 2019 год. Материалы и методы: Исследование проводилось на основе публикаций, в которых представлены результаты цитогенетического обследования, а также ретроспективно на основе цитогенетической базы данных. Для исследования были сформированы 9 групп обследуемых лиц в соответствии с периодами обследования: 5 групп облученных людей и 4 группы сравнения. Для получения препаратов проводили культивирование Т-лимфоцитов до стадии метафазы, гипотоническую обработку и фиксацию метафазных пластинок, приготовление препаратов хромосом. Результаты исследования и обсуждение: Результаты анализа показали снижение частоты дицентрических хромосом и нестабильных хромосомных обменов в период с 1970 по 2019 год. Наиболее значительное уменьшение числа хромосомных аберраций наблюдалось начиная с 1993 года — спустя 40–50 лет после начала облучения. Частота дицентриков значимо выше относительно группы сравнения в периоды 1970–1990 гг. (23–43 года от начала облучения) и 1993–1996 гг. (46–49 лет от начала облучения), а также в период 2012–2019 гг. (65–72 года от начала облучения). Заключение: В настоящее время частота дицентриков у облученных лиц остается статистически значимо повышенной относительно группы сравнения. Частота нестабильных хромосомных обменов не отличается от группы сравнения. Современное оборудование и использование специализированного программного обеспечения в цитогенетической практике позволило увеличить количество проанализированных клеток в более чем 3 раза. Это существенно повысило вероятность обнаружения хромосомных аберраций как у облученных, так и не облученных лиц.

Ключевые слова: *хроническое облучение, дицентрические хромосомы, нестабильные хромосомные аберрации, нестабильные хромосомные обмены, река Теча.*

Введение

На протяжении многих десятилетий радиационное воздействие остается одной из наиболее значимых экологических проблем, особенно для регионов, где произошло значительное загрязнение окружающей среды радионуклидами вследствие техногенных аварий или промышленных выбросов. Уральский регион, в частности, стал зоной повышенного риска радиационного воздействия на население в результате сбросов отходов радиохимического производства в р. Течу, служившую источником водоснабжения для жителей прибрежных сёл. Коллективная доза облучения населения прибрежных сёл р. Течи составила около 6000 чел.-Зв. Кроме этого, в 1957 г. произошел термохимический взрыв одного из хранилищ жидких отходов с общей активностью около 20 млн Ku. Радиоактивное облако суммарной активностью 2 млн Ku прошло над Челябинской, Свердловской и Тюменской областями, образовав Восточно – Уральский радиоактивный след (ВУРС). Коллективная доза облучения населения ВУРС составила 10500 чел.-Зв [1].

Уникальность ситуации в результате загрязнения окружающей среды радионуклидами была обусловлена многолетним характером облучения населения в широком диапазоне доз, вызванным как внешним γ-облучением, так и внутренним за счет употребления речной воды и продуктов питания местного производства. Наибольшие значения мощностей доз γ-излучения отмечались в период массированных сбросов 1950–1951 гг. и достигали в августе 1951 г. от 50000 мкР/с (180 Р/ч) у места сброса до 1500 мкР/с на берегу Метлинского пруда и до 100 мкР/с на берегу Течи вблизи населенного пункта Теча-Брод (18 км от места сброса). Основными источниками внутреннего облучения населения в первые годы являлись ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{137}Cs и другие изотопы, поступившие в организм с речной водой и продуктами местного производства (молоко, рыба, овощи с поливных огородов и т.п.). Основным дозообразующим радионуклидом после проведения защитных мероприятий являлся ^{90}Sr, из-за его способности накапливаться и длительное время удерживаться в костной ткани [2]. Стронций является долгоживущим радионуклидом, который являясь

Ахмадуллина Юлия Рафисовна
Уральский научно-практический центр радиационной медицины
Адрес для переписки: 454141, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А; E-mail: akhmadullina.yul@yandex.ru

аналогом кальция, заменяет его в костной ткани и подвергает клетки костного мозга β-облучению, оказывая влияние на гемопоэз и иммунитет облученного человека. Это подтверждается результатами различных исследований населения прибрежных сёл реки Течи, изложенных в научной литературе [1, 3, 4, 5].

Одним из ключевых вопросов отдаленных последствий радиационного воздействия являются цитогенетические эффекты у облученных лиц. Во-первых, частота нестабильных хромосомных обменов (НХО) в лимфоцитах периферической крови является маркером биологического эффекта радиационного воздействия. Во-вторых, повышенная частота хромосомных аберраций в организме человека в течение длительного времени свидетельствует о нарушении репаративной регенерации тканей [6]. Определенным персистирующим аберрациям, обнаруживаемых в лимфоцитах периферической крови и в красном костном мозге (ККМ), отводится роль в злокачественных гематологических заболеваниях [7].

В настоящее время накоплен значительный материал о действии облучения на хромосомный аппарат человека. В то же время важным вопросом является временная динамика хромосомных аберраций после облучения. Динамическое наблюдение за облученными людьми в целях изучения цитогенетических эффектов проводилось для ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), работников атомной промышленности, населения, проживавшего на загрязненных радионуклидами территориях. Результаты этих работ свидетельствуют о наличии нестабильных хромосомных аберраций в лимфоцитах периферической крови на протяжении длительного периода времени [8–12].

Поскольку хроническое облучение жителей Уральского региона продолжается и по настоящее время с малой интенсивностью дозы за счет внутреннего облучения, оценка динамики НХО важна для понимания медико-биологических эффектов в отдалённый период от начала воздействия.

Цель исследования – изучение динамики частоты нестабильных хромосомных обменов в лимфоцитах у жителей Уральского региона, подвергшихся хроническому радиационному воздействию.

Задачи исследования

1. Оценить средние частоты дицентриков и нестабильных хромосомных обменов у жителей Южного Урала, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации, в динамическом наблюдении в периодах исследования 1970–1990 гг., 1993–1996 гг., 2000–2006 гг., 2007–2012 гг., 2013–2019 гг.

2. Оценить частоту дицентрических хромосом у облученных лиц относительно Группы сравнения в разных периодах обследования.

Материалы и методы

В Уральском научно-практическом центре радиационной медицины более 60 лет обследуются лица, которые подверглись хроническому облучению в Уральском регионе.

В первые годы после начала радиационного воздействия обследование населения включало оценку клинического статуса, гематологические, биохимические и иммунологические исследования. Цитогенетические методы исследования начали применяться через 23 года с начала радиационного воздействия [13] в 60–70–х годах XX века; с 1993 года началось формирование цитогенетического банка данных, который пополняется по настоящее время [14]. За период с 1993 по 2025 год сотрудниками лаборатории было подготовлено более 2000 препаратов метафазных пластинок, более 1500 препаратов с цитокинез–блокированными двуядерными лимфоцитами. В настоящее время в лаборатории радиационной генетики для исследований проводится подготовка препаратов с метафазными пластинками хромосом для изучения хромосомных аберраций и длины теломер, а также с цитокинез-блокированными двуядерными лимфоцитами для изучения микроядер и особенностей пролиферации клеток.

Характеристика обследуемых лиц

Динамику частоты НХО исследовали в период с 1970–х годов по 2019 год на основе публикаций [15,16], в которых представлены результаты цитогенетического обследования облученных лиц в период с 1970–х по 1996 год, а также ретроспективно на основе цитогенетической базы данных.

В цитогенетическую базу данных подбирали доноров, придерживаясь следующих критериев:

3) обследуемые лица в период с 01.01.1950 по 31.12.1960 год проживали в одном из 41 сёл, расположенных на побережье реки Течи;

4) имеют рассчитанные индивидуальные накопленные дозы облучения ККМ на основе дозиметрической системы TRDS–2016;

5) отсутствие аутоиммунных, онкологических, острых или хронических в период обострения воспалительных заболеваний;

6) отсутствие приема антибиотиков, глюкокортикоидов и цитостатиков в течение 6 месяцев, предшествующих исследованию;

7) отсутствие рентгенологических обследований в течение 3 месяцев, предшествующих исследованию.

Характеристика обследуемых групп людей представлена в таблице 1.

Для исследования были сформированы следующие группы обследуемых лиц в соответствии с периодом обследования:

1) Период обследования с 1970 по 1990 год. Данные взяты из публикации [15]. В группу вошли 47 облученных лиц в возрасте 18 – 62 года. Кумулятивная поглощённая доза в скелете у обследованных лиц в среднем была 350 рад (диапазон 40 – 1900 рад).

2) Период обследования с 1993 по 1996 год. Данные взяты из публикации [16]. В этой работе частота нестабильных хромосомных аберраций оценивалась у 112 облученных лиц, 61 % из них были женщины и 39 % – мужчины. Средний возраст был 62 года. Средняя доза облучения ККМ была 130 сЗв (диапазон от 5 до 330 сЗв).

3) Период обследования с 2000 по 2006 год. В эту группу вошли 213 человек, средний возраст которых составил 66,3 года, средняя доза облучения ККМ составила 0,96 ± 0,04 Гр. Женщин было 63 %, мужчин – 37 %.

4) Период обследования с 2007 по 2012 год. В эту группу вошли 93 человека, средний возраст которых составил 68,4 ± 0,6 лет, а средняя доза облучения ККМ – 1,0 ± 0,08 Гр. Женщин было 62 %, мужчин – 38 %.

5) Период обследования с 2013 по 2019 год. В этой группе был обследован 61 человек, средний возраст составил 72,3 года, средняя доза облучения ККМ 0,78 ± 0,07 Гр. Женщин – 69 %, мужчин – 31 %.

Таблица 1

Характеристика обследуемых групп людей

[Table 1

Characteristics of the studied groups of individuals]

№ п/п	Период обследования, годы [Time periods of examination, years]	Кол-во человек [Number of persons]	Возраст, лет [Age, years]	Пол (жен/муж), % [Sex (Female/Male), %]	Доза ККМ [Dose to RBM]
1	1970 – 1990 [15][1]	47	18 – 62	Не указано [Not stated]	см. прим.[2] [see note[2]]
2	1993 – 1996 [16][3]	112	62	61/39	130 сЗв (5 – 330 сЗв)
3	2000 – 2006	213	66,3 ± 0,4 (56 – 89)	62/38	0,96 ± 0,04 Гр (0,1 – 2,87)
4	2007 – 2012	93	68,4 ± 0,6 (57 – 84)	63/37	1,0 ± 0,08 Гр (0,1 – 3,51)
5	2013 – 2019	61	72,3 ± 1,0 (57 – 87)	69/31	0,78 ± 0,07 (0,1 – 3,18)
6	Группа сравнения 1970 – 1990 [15] [Comparison group 1970 – 1990 [15]]	20	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]	0
7	Группа сравнения 1993 – 1996 [16] [Comparison group 1993 – 1996 [16]	24	62	63/37	0
8	Группа сравнения 2000 – 2012 [Comparison group 2000 – 2012]	58	66,6 ± 0,7 (56 – 79)	64/36	0
9	Группа сравнения 2013 – 2019 [Comparison group 2013 – 2019]	35	62,0 ± 1,0	66/34	0,01 ± 0,002 (0 – 0,07)

[1] [15] –Здесь и далее в таблицах ссылка на литературный источник [15] [Here and elsewhere the tables contain the reference to [15]].

[2] Согласно [15] кумулятивная поглощённая доза в скелете у обследованных лиц в среднем составила 350 рад (40 – 1900 рад) [According to [15] cumulative absorbed dose to the skeleton in the examined individuals made up 350 rad (40 – 1900 rad)].

[3] [16] –Здесь и далее в таблицах ссылка на литературный источник [16] [Here and elsewhere the tables contain the reference to [16]].

6) Группа сравнения, сформированная с 1970 по 1990 год. Данные взяты из публикации [15]. В эту группу вошло 20 человек, не имевших контакта с радиоактивными веществами.

7) Группа сравнения, сформированная с 1993 по 1996 год. Данные взяты из публикации [16]. Эту группу составили 24 человека, средний возраст которых был 62 года, женщин было 63 %, мужчин – 37 %.

8) Группа сравнения, сформированная в период с 2000 по 2012 год. В нее вошли 58 необлученных лиц, средний возраст которых составил 66,6 лет, женщин – 64 %, мужчин – 36 %.

9) Группа сравнения, сформированная в период с 2013 по 2019 год. В нее вошли 35 человек, средний возраст которых составил 62,0 года, 66 % женщины и 34 % мужчины. Обследуемые лица, проживали на загрязненных радионуклидами территориях, доза облучения ККМ не превышала 0,07 Гр за весь период наблюдения. Средняя доза облучения ККМ – 0,01 ± 0,002 Гр.

Во всех исследуемых группах преобладали женщины, обследуемые лица были представлены русскими, татарами и башкирами.

Индивидуальные дозы облучения на ККМ в период обследования с 2000 по 2019 год были рассчитаны по TRDS-2016 сотрудниками биофизической лаборатории [17]

Соблюдение этических стандартов

Исследование одобрено этическим комитетом УНПЦ РМ, протокол № 3 от 23.04.2025 г. У лиц, участвующих в цитогенетических исследованиях, было получено информированное согласие на забор образцов крови и дальнейшие исследования.

Получение препаратов метафазных хромосом Т–лимфоцитов периферической крови

Изучение нестабильных хромосомных аберраций было проведено в метафазах Т-лимфоцитов периферической крови, стимулированных фитогемагглютинином (ФГА). Протокол методики подробно описан в работе [18]. За годы обследования могли поменяться некоторые производители и поставщики расходных материалов и реактивов.

В публикации [15] указано, что лейкоциты выделяли из гепаринизированной крови и культивировали в течение 60 ч согласно методу, приведенному в работе [19] с добавлением ФГА фирмы Wellcome (Великобритания).

В последующие периоды обследования для культивирования лимфоциты не выделяли.

Цитогенетические препараты из Т-лимфоцитов периферической крови доноров получали, выполнив последовательно четыре этапа: культивирование клеток до стадии метафазы, гипотоническую обработку метафазных клеток, фиксацию метафазных пластинок и собственно приготовление препаратов хромосом.

Культивирование Т-клеток проводили в стерильных бакпечатках. Культура включала: 2 мл крови, 5 мл среды RPMI – 1640 (ПанЭко, Россия), 0,5 мл отборной эмбриональной телячьей сыворотки (ПанЭко, Россия), фитогемагглюти-

нин (ФГА) в итоговой концентрации 20 мг/мл (ПанЭко, Россия). Клетки культивировали в CO_2 инкубаторе (или в термостате) при 37,5 °С. За 3 часа до окончания культивирования в культуру вводили раствор колцемида в итоговой концентрации 0,03 мг/мл (ПанЭко, Россия).

Для дальнейшей обработки смесь клеток переносили в химически чистые центрифужные пробирки, центрифугировали, супернатант убирали, оставляя осадок. Для гипотонической обработки клеток приливали теплый 37 °С раствор KCl (0,55 %) и оставляли на 30 мин в термостате при 37 °С. Затем смесь центрифугировали 10 мин при 1100 об/мин. Осторожно удаляли супернатант, ресуспендировали осадок и приливали холодный 40 °С свежеприготовленный фиксатор (3 части спирт этиловый и 1 часть ледяная уксусная кислота), доведя общий объем содержимого пробирки до 10 мл, оставляли при +4 °С на 15 мин, после чего центрифугировали. Таким образом, клетки проводили через фиксатор три или четыре раза.

Для получения препаратов хромосом раскапывали смесь на охлажденное стекло и сушили на термоплато при 40 °С.

Качество препарата проверяли при фазово-контрастной микроскопии. После высыхания препаратов проводили окрашивание препаратов 2 % раствором красителя Гимза в течение 10 мин.

Анализ препаратов

Анализ препаратов осуществляли при световой микроскопии. В публикации [15] указано, что хромосомы идентифицировали согласно Денверской классификации 1961 года. В последующие периоды обследования кариотипирование метафаз не проводили. В анализ включали клетки с 45–47 хромосомами без наложений или с 1–2 наложениями, не мешавшими анализу.

С 2013 года анализ препаратов осуществлялся с применением автоматизированной системы Metafer (Metasystems, Германия), которая позволила сформировать галерею изображений метафазных пластинок. В этот же период для анализа хромосомных аберраций использовали программное обеспечение (ПО) Ikaros (Metasystems, Германия).

Оценивали частоту дицентрических хромосом и суммарно частоту обменных нестабильных аберраций (дицентрики, кольцевые хромосомы и ацентрические кольца) в процентах. Также в работе оценивали частоту лиц, у которых были выявлены клетки с НХО.

В анализ, проведенный на основе цитогенетической базы данных (период с 2000 по 2019 год) включили только тех лиц, у которых было проанализировано от 100 клеток и больше.

Статистическая обработка данных

Для описания результатов использовались стандартные методы описательной статистики. В исследуемых группах рассчитывались средние значения исследуемых показателей (среднее ± ошибка среднего). Сравнение исследуемых групп в период с 2000 по 2019 год проводилось с использованием непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Результаты периодов, отраженных в публикациях, сравнивались с результатами последующих периодов наблюдения точным критерием Фишера. Частота лиц, у которых выявлены НХО, сравнивалась методом χ^2. Динамика частоты НХО относительно периодов наблюдения оценивалась корреляционным анализом по Спирмену.

Нулевая гипотеза об отсутствии различий между сравниваемыми группами отвергалась при $p < 0,05$ и принималась альтернативная гипотеза о наличии статистически значимых различий.

Для статистического анализа использовалась статистическая программа Past 4.01 (Oyvind Hammer, Великобритания), SPSS Statistics (IBM, США).

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены средние частоты дицентриков и нестабильных хромосомных обменов в динамическом наблюдении.

Таблица 2

Результаты исследования

[Table 2

Results of the study]

Период обследования, годы [Time periods, years]	Среднее кол- во проанализированных клеток [Mean number of analyzed cells]	Частота, % [Frequency, %]		Частота лиц, у которых выявлены(%) [Frequency of people with detected (%)]	
		Дицентриков [Dicentrics]	нестабильных обменов [Unstable exchanges]	Дицентрики [Dicentrics]	нестабильные обмены [Unstable exchanges]
1970 – 1990 [15]	75	0,91[1,3]	не указано	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]
1993 – 1996 [16]	222	0,26 ± 0,06[2]	0,43 ± 0,08[2,3]	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]
2000 – 2006	212 ± 11 (100 – 590)	0,21 ± 0,04 (0 – 4)	0,26 ± 0,04 (0 – 5)	23	27
2007 – 2012	130 ± 11 (100 – 859)	0,24 ± 0,05 (0 – 3)	0,25 ± 0,06 (0 – 3)	23	25
2013 – 2019	590 ± 47 (100 – 1758)	0,16 ± 0,03[4,5] (0 – 0,8)	0,18 ± 0,03[4]	51[6,7]	56[6,7]
Группа сравнения 1970 – 1990 [15] [Comparison group 1970 – 1990 [15]]	57	0	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]

Окончание таблицы 2

Период обследования, годы [Time periods, years]	Среднее кол-во проанализированных клеток [Mean number of analyzed cells]	Частота, % [Frequency, %]		Частота лиц, у которых выявлены(%) [Frequency of people with detected (%)]	
		Дицентриков [Dicentrics]	нестабильных обменов [Unstable exchanges]	Дицентрики [Dicentrics]	нестабильные обмены [Unstable exchanges]
Группа сравнения 1993 – 1996 [16] [Comparison group 1993 – 1996 [16]]	225	0,08 ± 0,08	0,17 ± 0,09	не указано [Not stated]	не указано [Not stated]
Группа сравнения 2000 – 2012 [Comparison group 2000 – 2012]	107 ± 3 (100 – 200)	0,18 ± 0,05 (0 – 2)	0,22 ± 0,06 (0 – 2)	17	19
Группа сравнения 2013 – 2019 [Comparison group 2013 – 2019]	418 ± 62 (100 – 1531)	0,07 ± 0,02 (0 – 0,5)	0,12 ± 0,04 (0 – 1)	23	23

[1] Статистически значимые отличия по сравнению с Группой сравнения 1970–1990 гг., p > 0,001, согласно [15] [Statistically significant differences relative to the Comparison group 1970–1990, p > 0.001, according to [15]].

[2] Статистически значимые отличия по сравнению с Группой сравнения 1993–1996 гг., согласно [16] [Statistically significant differences relative to the Comparison group 1993–1996, according to [16]].

[3] Статистически значимые отличия относительно последующих периодов обследования, по точному критерию Фишера, p > 0,05 [Statistically significant differences relative to the subsequent time periods of examination, according to Fischer's exact test, p > 0.05].

[4] Статистически значимые отличия от предшествующих периодов обследования, по U-критерию Манна-Уитни. Для дицентриков: p=0,003 (по сравнению с Группой 2000–2006 гг.); p=0,022 (по сравнению с Группой 2007–2012 гг.). Для нестабильных обменов: p=0,025 (по сравнению с Группой 2000–2006 гг.); p=0,022 (по сравнению с Группой 2007–2012 гг.) [Statistically significant differences relative to the preceding time periods of examination, according to Mann–Whitney U-test. For dicentrics: p=0.003 (relative to the group 2000–2006); p=0.022 (relative to the group 2007–2012). For unstable exchanges: p=0.025 (relative to the group 2000–2006); p=0.022 (relative to the group 2007–2012)].

[5] Статистически значимые отличия от Группы сравнения 2012–2919 гг., по U-критерию Манна-Уитни, p=0,011 [Statistically significant differences relative to the Comparison group 2012–2919, according to Mann–Whitney U test, p=0.011].

[6] Статистически значимые отличия от предшествующих периодов наблюдения, по критерию χ^2, p > 0,001 [Statistically significant differences relative to the preceding time periods of examination, according to chi–square criterion, p > 0.001].

[7] Статистически значимые отличия от Группы сравнения 2012–2019 гг., по критерию χ^2, p > 0,001 [Statistically significant differences relative to the Comparison group 2012–2019, according to Chi–square criterion, p > 0.001]].

Видно, что частота дицентриков у облученных лиц с 1970 по 1990 год была самой высокой и составила 0,91 %. В последующий период с 1993 по 1996 год частота дицентриков снизилась в 3,5 раза и составила 0,26 ± 0,06 %. В период с 2000 по 2006 год частота дицентриков составила 0,21 ± 0,04 %, с 2007 по 2012 год – 0,24 ± 0,05, а с 2013 по 2019 год – 0,16 ± 0,03 %. Таким образом, частота дицентрических хромосом у облученного населения снижается с 0,91 % (с 1970 по 1990 год) до 0,16 ± 0,03 % (с 2013 по 2019 год) (коэффициент корреляции Спирмена k= – 0,9, p=0,037). Также было выявлено статистически значимое снижение частоты дицентриков у облученных лиц в период с 2013 по 2019 год, относительно периодов с 2000 по 2006 год и с 2007 по 2012 год (p=0,003 и p=0,022 соответственно).

При сравнении облученных лиц относительно группы сравнения, статистически значимое повышение частоты дицентриков было выявлено для групп, обследованных в период с 1970 по 1990 год (p <0,001), с 1993 по 1996 год (p <0,05), с 2013 по 2019 год (p=0,011).

Частота нестабильных хромосомных обменов в период с 1993 по 1996 год является самой высокой (0,43 ± 0,08 %) из всех рассмотренных периодов наблюдения. В период обследования с 2000 по 2006 год частота нестабильных обменов снизилась в 1,65 раз и составила 0,26 ± 0,04 %. В период обследования с 2007 по 2012 год частота нестабильных обменов составила 0,25 ± 0,06 %. В период с 2013 по 2019 год частота нестабильных обменов статистически значимо снизилась до 0,18 ± 0,03 % (p=0,025 – по сравнению с Группой 2000 – 2006 годы; p=0,022 – по сравнению с Группой 2007 – 2012 годы). Статистически значимое повышение частоты нестабильных обменов у облученных лиц по сравнению с Группой сравнения были выявлены для периода обследования 1993 – 1996 гг.

В таблице 2 также представлена частота облученных людей, в клетках у которох были выявлены дицентрики и нестабильные обмены. Как видно, в период обследования с 2013 по 2019 год наблюдается статистическое значимое повышение лиц, у которых обнаружили дицентрические хромосомы – 51 % обследуемых лиц (критерий χ^2=16,8, p=0,0001) и у которых нашли нестабильные обмены – 56 % (критерий χ^2=22,8, p=0,0001). Статистически значимые различия были выявлены как при сравнении разных периодов обследования среди облученных людей, так и при сопоставлении с контрольной Группой.

Также видно, что в этот период увеличилось среднее количество проанализированных клеток на одного человека: 590 ± 47 клеток – для облученных лиц, 418 ± 62 – для Группы сравнения, что в почти в 8 раз выше, чем в период с 1970 по1990 год, и почти в три раза выше, чем в период с 1993 по 1996 год и с 2000 по 2012 год.

В таблице 3 и 4 представлены средние частоты дицентриков и нестабильных обменов в Группе людей с выявленными хромосомными аберрациями этих типов.

Таблица 3

Средняя частота дицентриков в Группе людей с выявленными хромосомными аберрациями

[Table 3

Mean frequency of dicentrics in the group of individuals with detected chromosome aberrations]

Период [Time period]	Доза на ККМ, Гр [Dose to RBM, Gy]	Возраст, лет [Age, years]	Кол – во клеток [Number of cells]	Дицентрики, % [Dicentrics, %]
2000 – 2006 (n=49)	0,96 ± 0,08 (0,1 – 2,59)	66,4 ± 1,0 (57 – 89)	214 ± 23 (100 – 582)	0,91 ± 0,10 (0,17 – 4)
2007 – 2012 (n=21)	1,07 ± 0,16 (0,28 – 3,51)	69,1 ± 1,3 (59 – 81)	174 ± 32 (100 – 758)	1,05 ± 0,14 (0,13 – 3)
2013 – 2019 (n=31)	0,76 ± 0,08 (0,12 – 1,85)	71,2 ± 1,3 (57 – 87)	717 ± 79 (200 – 1758)	0,31 ± 0,04* (0,06 – 0,8)

* Статистически значимые различия между периодами обследования, при p=0,0001 [Statistically significant differences between the time periods of examination, p=0.0001]

Таблица 4

Средняя частота нестабильных обменов в Группе людей с выявленными хромосомными аберрациями

[Table 4

Mean frequency of unstable exchanges in the group of individuals with detected chromosome aberrations]

Период [Time period]	Доза на ККМ, Гр [Dose to RBM, Gy]	Возраст, лет [Age, years]	Кол – во клеток [Number of cells]	Нестабильные обмены, % [Unstable exchanges, %]
2000 – 2006 (n=57)	0,97 ± 0,08 (0,1 – 2,59)	66,42 ± 0,9 (57 – 89)	215 ± 21 (100 – 582)	0,92 ± 0,1 (0,2 – 5)
2007 – 2012 (n=22)	1,13 ± 0,17 (0,28 – 3,51)	69,21 ± 1,2 (59 – 81)	171 ± 31 (100 – 758)	1,05 ± 0,13 (0,13 – 3)
2013 – 2019 (n=40)	0,75 ± 0,08 (0,12 – 1,85)	71 ± 1,5 (57 – 87)	704 ± 78 (200 – 1758)	0,33 ± 0,04* (0,06 – 3)

* Статистически значимые различия между периодами обследования, при p=0,0001 [Statistically significant differences between the time periods of examination, p=0.0001]

Как можно видеть, частота дицентриков у людей с выявленными аберрациями в период с 2013 по 2019 год составила 0,31 ± 0,04 %, частота нестабильных обменов – 0,33 ± 0,04 %, что в 2,7 – 3,2 раза ниже, чем в предыдущие периоды обследования (p=0,0001).

Заключение

НХО являются маркерами радиационного воздействия и образуются сразу после облучения в результате образования двунитевых разрывов ДНК и их репарации. В ходе изучения динамики нестабильных хромосомных аберраций (НХА) после радиационного воздействия было выявлено повышение их частот у ликвидаторов ЧАЭС и жителей загрязненных радионуклидами территорий относительно необлученных лиц на протяжении длительного периода. Однако, если рассматривать такие хромосомные нарушения, как дицентрики и кольцевые хромосомы у облученных лиц, то они имеют тенденцию к снижению по прошествии времени после воздействия.

Влияние хронического облучения на жителей Южного Урала характеризовалось снижением мощности дозы сначала в результате проведения защитных мероприятий, а затем биокинетикой радионуклидов в организме человека [20].

Результаты оценки частоты дицентрических хромосом показали, что они на протяжении длительного времени после облучения остаются выше фоновых значений. Так, частота дицентриков значимо выше относительно Группы сравнения в периоды с 1970 по1990 год (23–43 года от начала облучения) и с 1993 по 1996 год (46–49 лет от начала облучения), а также в период с 2012 по 2019 год (65–72 года от начала облучения). Если рассматривать частоту НХО, то значимые различия от Группы сравнения были отмечены в период с 1993 по 1996 год. Таким образом, цитогенетический мониторинг облученного населения остается актуальной задачей.

Результаты данной работы показывают, что у лиц, подвергшихся хроническому радиационному воздействию в Уральском регионе, наблюдалось значительное снижение частоты дицентриков по прошествии 46–49 лет от начала облучения. Частота нестабильных хромосомных обменов также снижась, хотя данная тенденция не столь выраженная, как при оценке частоты дицентриков. Если рассматривать частоту хромосомных аберраций в Группе тех лиц, у которых они были выявлены, наблюдается снижение уровня дицентриков и НХО у облученных лиц, обследованных в период с 2013 по 2019 год, относительно обследованных лиц в периоды с 2000 по 2006 год и с 2007 по 2012 год. Частота дицентриков и НХО в крайний период наблюдения ниже в три раза.

Объяснением полученных данных может являться устранение клеток с НХА в ходе митоза из-за нарушения распределения хромосом среди дочерних клеток. Наблюдаемые в метафазных пластинах нестабильные аберрации свидетельствуют о том, что клетка могла пройти через первый митоз в условиях культивирования *in vitro* либо могла являться потомком облученной клетки. В работах других исследователей показано, что уже ко второму митозу число клеток с дицентриками сокращается вдвое,

а к третьему — на 70 %. Однако даже после деления клетки с дицентриками продолжают встречаться [21]. В исследовании [22] сообщается о примерах инактивации одной из центромеры в дицентрических хромосомах у разных видов, в том числе у человека. В работе было высказано предположение, что более короткие межцентромерные расстояния способствуют сохранению двух функциональных центромер, поскольку это снижает вероятность неправильного прикрепления микротрубочек или ориентации центромер к противоположным полюсам веретена [22]. У дицентрических хромосом с далеким друг от друга расположением центромер могут включаться эпигенетические механизмы, за счет этого одна из центромер становится неактивной, что позволяет сформировать функциональную моноцентрическую хромосому, способную проходить клеточный цикл деления.

Элиминация нестабильных хромосомных аберраций также тесно связана с длительностью жизни лимфоцитов, которая варьирует в различных популяциях лимфоцитах: по результатам разных исследований, средний полупериод жизни циркулирующих лимфоцитов составляет от 3–4 месяцев до 3–4 лет [23, 24]. Например, в работе [25] сообщается, что после радиотерапии нестабильные хромосомные аберрации очень быстро убывают в популяции лимфоцитов CD45R0 – через год клетки с НХА почти не встречаются, тогда как в популяции лимфоцитов CD45RA НХА наблюдаются в течение продолжительного периода наблюдения – более 10 лет. Также есть работы, в которых подтверждается, что продолжительность жизни некоторых субпопуляций лимфоцитов может достигать нескольких лет [26]. Также снижение уровня НХО свидетельствует о восстановлении генетического материала, чему способствовало снижение уровня радиационного воздействия.

Еще один результат, полученный в настоящем исследовании, касается увеличения количества облученных лиц, у которых обнаружили НХО в период с 2013 по 2019 год, что статистически значимо выше предыдущих периодов обследования и Группы сравнения. Полученные результаты связаны с началом применения современных способов оцифровки препаратов. С 2013 года поиск и съемка метафаз осуществляется с помощью автоматизированной системы Metafer (Metasystems, Германия), а для анализа применяется ПО Ikaros (Metasystems, Германия), что в совокупности позволяет находить на препарате большее количество клеток и детально их анализировать. Современное оборудование и использование специализированного ПО позволило увеличить среднее количество проанализированных клеток в более чем 3 раза. Увеличение количества проанализированных клеток повысило вероятность обнаружения хромосомных аберраций как у облученных, так и необлученных лиц. Результаты исследования этого периода показали, что несмотря на то, что при динамическом наблюдении частота хромосомных аберраций снижается, все же она остается значимо выше, чем в Группе сравнения.

Таким образом, представленные данные позволяют нам наблюдать долгосрочные последствия радиационного воздействия и подтверждают важность продолжения научных исследований и медицинского контроля за состоянием здоровья облученных лиц.

Заключение

1. Результаты динамического цитогенетического исследования среди облучённого населения Уральского региона показали снижение частоты дицентрических хромосом и нестабильных хромосомных обменов в период с 1970 по 2019 год. Установлено, что частота дицентрических хромосом уменьшилась с 0,91 % в первые десятилетия наблюдения до 0,16 ± 0,03 % в заключительный период наблюдения (коэффициент корреляции Спирмена k=–0,9, p=0,037). Аналогичным образом отмечено устойчивое снижение частоты нестабильных хромосомных обменов с 0,43 ± 0,08 % до 0,18 ± 0,03 % (p > 0,05). Наиболее значительное уменьшение числа хромосомных аберраций наблюдалось начиная с 1993 года — спустя 40–50 лет после воздействия радиации.

2. Частота дицентриков значимо выше относительно Группы сравнения в периоды с 1970 по1990 год (23–43 года от начала облучения) и с 1993 по 1996 год (46–49 лет от начала облучения). В заключительный период наблюдения с 2012 по 2019 год (65–72 года от начала облучения) частота дицентрических хромосом у облученных лиц остается статистически значимо повышенной относительно Группы сравнения: 0,16 ± 0,03 % против 0,07 ± 0,02 % (p=0,011).

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Ахмадуллина Ю.Р. – написание текста статьи, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературного материала, разработка концепции и дизайна исследования.

Кривощапова Я.В. – написание текста статьи, интерпретация данных, анализ литературного материала, сбор первичных данных.

Благодарности

Исследование выполнено на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Уральский научно-практический центр радиационной медицины» Федерального медикобиологического агентства (г. Челябинск). Авторы признательны директору А.В. Аклееву и всем сотрудникам центра за помощь в проведении исследования. Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук Возиловой А.В. за вклад в идею исследования. Также авторы выражают благодарность старшим лаборантам Сыченко З.И. и Чикиревой И.А. за техническое сопровождение работы.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФМБА России, тема НИР «Отдалённые цитогенетические эффекты хронического облучения у жителей Южного Урала», шифр: «Цитогенетические эффекты».

Литература

1. Аклеев А.В. Уральский научно – практический центр радиационной едицины – 50 лет / в кн. Медико – биологические эффекты хронического радиационного воздействия. Челябинск, 2005. Т.1. С. 5 – 22.
2. Последствия радиоактивного загрязнения реки Течи / Под ред. А.В. Аклеева. Челябинск: «Книга», 2016. – 400 с.
3. Аклеев А.В., Силкина Л.А., Веремеева Г.А. Радиационно – индуцированные изменения иммунитета и их возможная роль в развитии отдаленных последствий облучения человека // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно – эпидемиологического регистра). 1997. № 10. С. 136 – 145.
4. Аклеев А.В., Крестинина Л.Ю., Варфоломеева Т.А. и др. Медико – биологические эффекты хронического воздействия ионизирующей радиации на человека // Медицинская наука и образование Урала. 2008. Т. 9, № 2(52). С. 8 – 10.
5. Аклеев А.В., Варфоломеева Т.А. Состояние гемопоэза в условиях многолетнего облучения костного мозга у жителей прибрежных сел р. Теча // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 3. С. 307 – 321.
6. Bryant P.E., Riches A. C., Terry S. Mechanisms of the formation of radiation – induced chromosomal aberrations // Mutation Research. 2010. Vol. 701, No 1. P. 23 – 26. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2010.03.016.
7. Schoch C., Haferlach T. Cytogenetics in acute myeloid leukemia // Current Oncology Reports. 2002. Vol. 4, No 5. P. 390 – 397. DOI: 10.1007/s11912 – 002 – 0032 – 0.
8. Снигирева Г.И., Богомазова А.И., Новицкая Н.И. и др. Результаты многолетнего цитогенетического наблюдения за участниками ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2008. Т. 53, № 4. С. 38 – 45.
9. Снигирева Г.П., Новицкая Н.Н. Возможности использования цитогенетических методов при обследовании населения, подвергшегося облучению в результате ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. 2011. № 11 – 1. С. 17.
10. Vozilova A.V., Akleev A.V. The dynamics of unstable chromosome aberrations frequency among people exposed on the Techa River // In book of abstracts International Conference "Genetic Consequences of Emergency Radiation Situations". Moscow, 2002. P. 230 – 231.
11. Abildinova G.Zh., Svyatova G.S., Kuleshov N.P. Chromosomal instability parameters in the population affected by nuclear explosions at the Semipalatinsk nuclear test site // Russian Journal of Genetics. 2003. Vol. 39, suppl. 8. P. 944 – 947.
12. Вишневская Т.В, Цыпленкова М.Ю., Исубакова Д.С. и др. Оценка спектра и частоты хромосомных аберраций в лимфоцитах крови работников объекта использования атомной энергии на протяжении 15 лет трудовой деятельности // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 18–26. DOI: 10.21514/1998–426X–2025–18–1–18–26.
13. Petushkova N.A., Zvereva G.I., Kosenko M.M. Cytologic screening of the population because of radioactive waste products disposal in the Techa river // Medical Radiology. 1993. Vol. 38, No. 2. P. 35 – 38.
14. Ахмадуллина Ю.Р., Возилова А.В., Кривощапова Я.В. Влияние хронического облучения на показатели цитогенетических маркеров старения у жителей прибрежных сел реки Теча // Медицина экстремальных ситуаций. 2024. № 2. С. 56–66. DOI: 10.47183/mes.2024.018.
15. Петрушова Н.А., Кирюшкин В.И. Цитогенетические эффекты в лимфоцитах из культуры периферической крови у лиц, подвергавшихся воздействию долгоживущих продуктов деления урана // Медико – биологические эффекты хронического радиационного воздействия. Челябинск, 2005. Т. 1. С. 65 – 71.
16. Возилова А.В. Отдаленные цитогенетические эффекты хронического облучения населения Южного Урала: автореф. дисс. канд. биол. наук. Москва, 1997. 24 с.
17. Shishkina E.A., Napier B.A., Preston D.L. et al. Dose estimates and their uncertainties for use in epidemiological studies of radiation – exposed populations in the Russian Southern Urals // PLoS ONE. 2023. Vol. 18, No 8. P. e0288479. DOI: 10.1371/journal.pone.0288479.
18. Vozilova A.V., Shagina N.B., Degteva M.O. et al. Chronic radioisotope effects on residents of the Techa river (Russia) region: Cytogenetic analysis more than 50 years after onset of exposure // Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2013. Vol. 756, No 1 – 2. P. 115 – 118. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2013.05.016.
19. Moorhead P.S., Nowell P.C., Mellman W.J. et al. Chromosome preparations of leukocytes cultured from human peripheral blood // Experimental Cell Research. 1960. Vol. 20. P. 613 – 616.
20. Дегтева М.О., Толстых Е.И., Шагина Н.Б. и др. Дозы облучения населения, проживавшего на реке Тече / Последствия радиоактивного загрязнения реки Течи / под ред. А.В. Аклеева. 2016. С. 105 – 155.
21. Kaddour A., Colicchio B., Buron D. et al. Transmission of induced chromosomal aberrations through successive mitotic divisions in human lymphocytes after *in vitro* and *in vivo* radiation // Scientific Reports. 2017. Vol.12, No 7(1). P. 3291. DOI: 10.1038/s41598 – 017 – 03198 – 7.
22. Stimpson K.M., Matheny J.E., Sullivan B.A. Dicentric chromosomes: unique models to study centromere function and inactivation // Chromosome Research. 2012. Vol. 20, No 5. P. 595 – 605. DOI: 10.1007/s10577 – 012 – 9302 – 3.
23. Norman A., Sasaki M., Ottoman R. et al. Lymphocyte lifetime in women // Science. 1965. Vol. 147, Issue 3659. P. 745. DOI: 10.1126/science.147.3659.745.
24. Ramalho A.T., Curado M.P., Natarajan A.T. Lifespan of human lymphocytes estimated during a six year cytogenetic follow – up of individuals accidentally exposed in the 1987 radiological accident in Brazil // Mutation Research. 1995. Vol. 331, No 1. P. 47 – 54.
25. Michie C.A., McLean A., Alcock C. et al. Lifespan of human lymphocyte subsets defined by CD45 isoforms // Nature. 1992. Vol. 360, Issue 6401. P. 264 – 265.
26. Tough D.F., Sprent J. Lifespan of lymphocytes // Immunologic Research. 1995. Vol. 14, No 1. P. 1 – 12.

Поступила: 30.04.2025

Ахмадуллина Юлия Рафисовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной генетики Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 454141, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, д. 68-А.; E-mail: akhmadullina.yul@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-4394-2228

Кривощапова Яна Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной генетики Уральского научно-практического центра радиационной медицины Федерального медико-биологического агентства, Челябинск, Россия

ORCID: 0000-0002-2555-2616

Для цитирования: Ахмадуллина Ю.Р., Кривощапова Я.В. Динамика частоты нестабильных хромосомных обменов в лимфоцитах у жителей Уральского региона, подвергшихся хроническому радиационному воздействию // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 36–45. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-36-45

Dynamics of the frequency of unstable chromosome exchanges in lymphocytes of chronically exposed residents of the Ural region

Yuliya R. Akhmadullina , Yana V. Krivoshchapova

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

In the middle of the 20th century residents of the Ural region were affected by chronic radiation exposure in a wide dose range due to the release of liquid radioactive waste into the Techa River. The objective of the study was to investigate the dynamics of the frequency of unstable chromosome exchanges in chronically exposed residents of the Techa riverside settlements. Materials and Methods: The study covers the period from 1970s through 2019. The analysis is based on the published research describing the results of cytogenetic examination, as well as on the retrospective study of the cytogenetic database data. Nine groups of examined individuals were formed by periods of examination: five groups of exposed people and four comparison groups. To obtain the preparations, T-lymphocytes were cultivated to the metaphase stage and hypotonically treated; the metaphase plates were fixed, and the chromosome preparations were prepared. Results and Discussion: Results of the assessment showed a decrease in frequency of dicentrics and unstable chromosome exchanges over the period from 1970 through 2019. Most significant decline in the number of chromosome aberrations was observed starting from 1993, i.e. 40–50 years after the onset of exposure. Dicentrics are statistically significantly more frequent in the group of exposed people relative to the comparison group in the periods 1970-1993 (23-43 years after the onset of exposure), and 1993-1996 (46-49 years after the onset of exposure), as well as in the period from 2012 through 2019 (65-72 years after the onset of exposure). Conclusion: At present, frequency of dicentrics in exposed people remains statistically significantly increased relative to the comparison group members. State-of-the-art equipment and use of special software packages in the work of cytogeneticists made it possible to increase the number of analyzed cells in more than 3 times. It increased considerably the probability of chromosome aberration detection both in exposed and unexposed individuals.

Key words: *chronic exposure, dicentrics, unstable chromosome aberrations, unstable chromosome exchanges, the Techa River.*

Authors' personal contribution

All the authors made a considerable contribution to the conceptual design of the study, performed the analysis and wrote the paper, read provided critical feedback, and approved the final version of the manuscript before its submission to the journal.

Akhmadullina Yu.R. wrote the manuscript, analyzed and interpreted the data, collected and analyzed the available literature, developed the conceptual design of the study.

Krivoshchapova Ya.V. wrote the manuscript, interpreted the data, analyzed the literary reference sources, collected primary data.

Acknowledgments

The study has been performed at the premises of the Urals Research Center for Radiation Medicine of the Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk (URCRM, Chelyabinsk). The authors would like to express their gratitude to A.V. Akleyev, the director of the URCRM, and all the members of the staff for their help in carrying out the research. The authors would like to give special thanks to A.V. Vozilova, PhD in Biology for the contribution to the concept of the study, and to Z.I. Sychenko and I.A. Chikireva, senior laboratory technicians, for the technical support of the study.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Sources of funding

The study has been performed within the framework of the State Assignment of FMBA of Russia, Research topic “Late cytogenetic effects of chronic exposure in the population of the Southern Urals”, Code name “Cytogenetic effects”.

Yuliya R. Akhmadullina
Urals Research Center for Radiation Medicine
Address for correspondence: 68A, Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: akhmadullina.yul@yandex.ru

References

1. Akleev AV. Urals Research Center for Radiation Medicine – 50 years. In “Medical and Biological effects of chronic radiation exposure”. Chelyabinsk; 2005. P. 5 – 22. (In Russian).
2. Consequences of radioactive contamination of the Techa River. Ed. by A.V. Akleev. Chelyabinsk: “Kniga”; 2016. 400 p. (In Russian).
3. Akleev AV, Silkina LA, Veremeeva GA Radiation-induced changes in immunity and their possible role in the development of long-term effects of human exposure. *Radiatsiya i risk (Byulleten Natsionalnogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra) = Radiation and risk (Bulletin of the National Radiation and Epidemiological Register).* 1997;10: 136-145. (In Russian).
4. Akleev AV, Krestinina LYu, Varfolomeeva TA, Ostroumova EV, Pushkarev SA, Shalaginov SA, et al. Biomedical effects of chronic exposure to ionizing radiation on humans. *Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala = Medical science and education of the Urals.* 2008;9(52): 8-10. (In Russian).
5. Akleev AV, Varfolomeeva TA. The state of hematopoiesis in conditions of long-term bone marrow irradiation in residents of coastal villages of the Techa. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology.* 2007;47(3): 307-321. (In Russian).
6. Bryant PE, Riches AC, Terry S. Mechanisms of the formation of radiation-induced chromosomal aberrations. *Mutation Research.* 2010;701(1): 23-26. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2010.03.016.
7. Schoch C, Haferlach T, Cytogenetics in acute myeloid leukemia. *Current Oncology Reports*. 2002;4(5): 390-397. DOI: 10.1007/s11912-002-0032-0.
8. Snigiryova GP, Bogomazova AI, Novitskaya NI. Results of the long-term cytogenetic monitoring of Chernobyl recovery workers. *Medical radiology and radiation safety.* 2008;53(4): 38-45. (In Russian).
9. Snigireva GP, Novitskaya NN. Possibility of cytogenetic methods for examination of people exposed as a result of nuclear explosions on the Semipalatinsk test site. *Vestnik Rossiyskogo nauchnogo centra rentgenoradiologii = Bulletin of the Russian Scientific Center for Radiology.* 2011;11(1): 17. (In Russian).
10. Vozilova AV, Akleev AV. The dynamics of unstable chromosome aberrations frequency among people exposed on the Techa River: International Conference "Genetic Consequences of Emergency Radiation Situations". Moscow; 2002. P. 230-231.
11. Abildinova GZh, Svyatova GS, Kuleshov NP. Chromosomal instability parameters in the population affected by nuclear explosions at the Semipalatinsk nuclear test site. *Russian Journal of Genetics.* 2003;39(8): 944-947.
12. Vishnevskaya TV, Tsyplenkova MYu, Isubakova DS, Cymbal OS, Milto IV, Takhauov RM. Assessment of the spectrum and frequency of chromosomal aberrations in blood lymphocytes of employees of an atomic energy facility during 15 years of work. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene.* 2025;18(1): 18-26. (In Russian).
13. Petushkova NA, Zvereva GI, Kosenko MM. Cytologic screening of the population because of radioactive waste products disposal in the Techa river. *Medical Radiology.* 1993;38(2): 35-38.
14. Akhmadullina YuR, Vozilova AV, Krivoshchapova YaV. The effect of chronic exposure on the parameters of cytogenetic markers of senescence in the residents of the Techa riverside settlements. *Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Extreme Medicine*. 2024;(2): 56–66. (In Russian). DOI: 10.47183/mes.2024.018.
15. Petrushova NA, Kiryushkin VI. Cytogenetic effects in lymphocytes from peripheral blood culture in individuals exposed to long-lived uranium fission products. In: Mediko-biologicheskie effekty khronicheskogo radiatsionnogo vozdeystviya = Biomedical effects of chronic radiation exposure. Chelyabinsk. 2005; Vol. 1. P. 65-71. (In Russian).
16. Vozilova AV. Late cytogenetic effects of chronic radiation exposure of the population of the Southern Urals: avtoref. diss. kand. biol. nauk. Moscow: 1997; 24 p. (In Russian).
17. Shishkina, EA, Napier BA, Preston DL, Degteva MO. Dose estimates and their uncertainties for use in epidemiological studies of radiation-exposed populations in the Russian Southern Urals. *PLoS ONE.* 2023;18(8): e0288479. DOI: 10.1371/journal.pone.0288479.
18. Vozilova, AV, Shagina NB, Degteva MO, Akleev AV. Chronic radioisotope effects on residents of the Techa river (Russia) region: Cytogenetic analysis more than 50 years after onset of exposure. *Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis.* 2013;756(1-2): 115-118. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2013.05.016.
19. Moorhead PS, Nowell PC, Mellman WJ, Battips DM, Hungerford DA. Chromosome preparations of leukocytes cultured from human peripheral blood. *Experimental Cell Research.* 1960;20: 613-616.
20. Degteva MO, Tolstykh EI, Shagina NB, et al. Radiation doses of the population living on the Techa River. In: Akleev AV (ed.). Consequences of radioactive contamination of the Techa River. 2016; 105-155. (In Russian).
21. Kaddour A, Colicchio B, Buron D, Maalouf EE, Laplagne E, Borie C, et al. Transmission of induced chromosomal aberrations through successive mitotic divisions in human lymphocytes after in vitro and in vivo radiation. *Scientific Reports*. 2017;12(1): 3291. DOI: 10.1038/s41598-017-03198-7.
22. Stimpson KM, Matheny JE, Sullivan BA. Dicentric chromosomes: unique models to study centromere function and inactivation. *Chromosome Research*. 2012;20(5): 595-605. DOI: 10.1007/s10577-012-9302-3.
23. Norman A, Sasaki MS, Ottoman RE, Fingerhut AG. Lymphocyte lifetime in women. *Science.* 1965;147(3659): 745.
24. Ramalho AT, Curado MP, Natarajan AT. Lifespan of human lymphocytes estimated during a six year cytogenetic follow-up of individuals accidentally exposed in the 1987 radiological accident in Brazil. *Mutation Research.* 1995;331(1): 47-54.
25. Michie CA, McLean A, Alcock C, Beverley PC. Lifespan of human lymphocyte subsets defined by CD45 isoforms. *Nature.* 1992;360(6401): 264-265.
26. Tough DF, Sprent J. Lifespan of lymphocytes. *Immunologic Research.* 1995;14(1): 1-12.

Received: April 30, 2025

For correspondence: Yuliya R. Akhmadullina – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Radiation Genetics, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency (68A Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: akhmadullina.yul@yandex.ru)

ORCID: 0000-0003-4394-2228

Yana V. Krivoshchapova– Junior Researcher, Laboratory of Radiation Genetics, Urals Research Center for Radiation Medicine, Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

ORCID: 0000-0002-2555-2616

For citation: Akhmadullina Yu.R., Krivoshchapova Ya.V. Dynamics of the frequency of unstable chromosome exchanges in lymphocytes of chronically exposed residents of the Ural region. ***Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*****. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 36–45. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-36-45**

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-46-61
УДК: 614.876:615.849

Медицинское диагностическое облучение в Российской Федерации: проблемы регулирования и предложения по их решению

Водоватов А.В.[1,2], Чипига Л.А.[1,3,4], Косарлукова Е.А.[1], Библин А.М.[1], Вишнякова Н.М.[1,5]

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

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

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

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

[5] Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Анализ трендов уровней облучения населения Российской Федерации за последние годы свидетельствует о неуклонном росте доз облучения пациентов при медицинском облучении. Для поддержания необходимого уровня радиационной защиты пациентов система нормативного обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении в Российской Федерации нуждается в актуализации и адаптации к современному состоянию отечественной лучевой диагностики и терапии. Цель данной работы заключалась в обосновании переработки нормативно-правовой базы в области обеспечения радиационной безопасности населения при медицинском облучении. Для этого были проведены сравнения международных и отечественных подходов к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении; идентифицированы основные проблемы и сформулированы предложения по их решению. В рамках данной работы был выполнен анализ международных и отечественных регулирующих документов в области обеспечения радиационной безопасности, регламентирующих требования к нормированию, обоснованию и оптимизации при медицинском облучении. По результатам анализа были выделены основные направления совершенствования отечественной системы радиационной безопасности при медицинском облучении: налаживание межведомственного взаимодействия между Роспотребнадзором, Минздравом и Росздравнадзором для создания комплексного подхода к обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении; совершенствование системы регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов; совершенствование подходов к оценке радиационного ущерба (риска) для пациентов, проходящих рентгенорадиологические процедуры; переработка и актуализация российских нормативно-правовых актов, содержащих обязательные требования, предъявляемые к радиационной защите пациентов. Предложена схема распределения полномочий по обеспечению радиационной защиты пациентов между Роспотребнадзором, Минздравом и Росздравнадзором. Часть предложений была реализована в СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения».

Ключевые слова: *медицинское облучение, пациенты, оптимизация, обоснование, дозы облучения пациентов, радиационная защита.*

Введение

Медицинское облучение является одним из основных техногенных факторов воздействия ионизирующего излучения на человека. Без применения медицинских источников ионизирующего излучения (ИИИ) невозможно представить современное здравоохранение. Количество рентгенорадиологических процедур в Российской Федерации (РФ) возрастает с каждым годом примерно на 5 % главным образом за счет современных высокоинформативных методов лучевой диагностики (компьютерной томографии (КТ), интервенционных исследований, процедур ядерной медицины). Соответственно растёт и коллективная доза населения РФ за счет медицинского облучения и средние эффективные дозы на душу населения от различных видов лучевой диагностики [1–5].

В последние годы РФ столкнулась с пандемией новой коронавирусной инфекции COVID-19, при которой применение высокодозовых методов лучевой диагностики (компьютерной томографии) стало стандартом оказания медицин-

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

ской помощи [6–7]. Положительное влияние на развитие лучевой диагностики оказала реализация государственных федеральных и региональных программ, направленных на повышение эффективности и модернизацию системы здравоохранения. Изменения в структуре лучевой диагностики приводят к росту индивидуальных и коллективных доз облучения и ассоциированных с ними радиационных рисков. Для минимизации негативных эффектов медицинского облучения для населения РФ необходимо совершенствовать систему обеспечения радиационной защиты при медицинском облучении и адаптировать ее под современные технологии и практики [4].

На сегодняшний день система нормативного регулирования обеспечения радиационной защиты при медицинском облучении в РФ нуждается в модернизации. Основные нормативно-правовые акты и нормативно-регулирующие документы в области обеспечения радиационной безопасности были утверждены более 15 лет назад (Федеральный закон №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»[1] – в 1996 г.; НРБ 99/2009[2] – в 2009 г.; ОСПОРБ 99/2010[3] – в 2010 г.; требования к рентгеновским кабинетам[4] – в 2003 г.) и с тех пор не актуализировались. В них не отражены современные международные принципы и подходы к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении; отсутствует учет специфики применения современных технологий медицинской визуализации.

Цель исследования – в обосновании переработки нормативно-правовой базы в области обеспечения радиационной безопасности населения при медицинском облучении. Для этого было проведено сравнение международных и отечественных подходов к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении, идентифицированы основные проблемы и сформулированы предложения по их решению.

Современные подходы к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении

Международная система разработки требований к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении основана на взаимодействии двух международных организаций: Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). МКРЗ разрабатывает научные основы для обеспечения радиационной безопасности при использовании всех видов ИИИ, в том числе и медицинских. Результаты научных исследований представлены в виде публикаций МКРЗ. На основе данных публикаций МАГАТЭ разрабатывает международные регулирующие документы, включающие в себя как обязательные требования к обеспечению радиационной безопасности, так и рекомендации и принципы хорошей практики. Подразумевается, что документы МАГАТЭ целесообразно использовать и/или учитывать странами-участниками МАГАТЭ при разработке национальных регулирующих документов [8].

На рисунке 1 представлена хронология разработки регулирующих документов МАГАТЭ и МКРЗ за последние годы. В качестве исходной точки выбран год выпуска фундаментальной Публикации 103 МКРЗ [9], устанавливающей принципиально новые подходы к обеспечению радиационной безопасности для всех видов ИИИ, в том числе и медицинских.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, позволяет сделать следующие выводы:

– в серии документов МКРЗ после выхода 103 и 105 Публикаций [9, 10] базовые требования к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении не претерпевают каких-либо принципиальных изменений. Все последующие публикации направлены на разъяснение и детализацию представленных в 103 и 105 Публикациях подходов к обеспечению радиационной защиты. Публикация 135 МКРЗ [11] выделена отдельно, так как содержит единый подход к оптимизации радиационной защиты пациентов посредством системы референтных диагностических уровней;

– документы МАГАТЭ выпускаются со значительной задержкой относительно документов МКРЗ. Так, основной стандарт безопасности МАГАТЭ BSS GSR part 3 [12] вышел лишь в 2014 г. (через 8 лет после выхода Публикации 103 МКРЗ). Специальное руководство по безопасности при медицинском облучении SSG-46 [13] вышло в 2018 г. (через 11 лет после выхода Публикации МКРЗ 105);

– более 80 % документов МАГАТЭ и МКРЗ направлены на разъяснение и детализацию базовых требований по обеспечению радиационной безопасности применительно к отдельным видам лучевой и радионуклидной диагностики и терапии, дозиметрии пациентов, подготовке специалистов по радиационной безопасности.

Сведения об основных отечественных документах, регламентирующих обеспечение радиационной безопасности при медицинском облучении, представлены на рисунке 2.

В РФ все нормативные документы, содержащие обязательные требования к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении, разработаны до 2015 г.; при этом основополагающие НРБ 99/2009 и ОСПОРБ 99/2010 – в 2009 и 2010 гг. соответственно. Они не гармонизированы с регулирующими документами МАГАТЭ и МКРЗ. С 2015 г. в РФ разрабатывались и утверждались только методические указания и рекомендации по обеспечению радиационной безопасности в медицине. Они учитывают современные подходы к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении, но из-за своего рекомендательного статуса в практику внедрены крайне ограничено.

Сравнение отечественных и международных подходов к обеспечению радиационной безопасности, содержащихся в основных регулирующих документах, представлено в таблице 1.

---

[1] Федеральный закон от 09.01.1996 N 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011) «О радиационной безопасности населения». [Federal State Law N 3-FZ, 09.01.1996 "On the radation safety of the public". (In Russ.)]

[2] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 N 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» (вместе с «НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы») (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 N 14534). [Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. (In Russ.)]

[3] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 N 40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» (вместе с "СП 2.6.1.2612-10. ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы...») (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 N 18115). [Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10 "Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010)". (Registered in the Ministry of Justice of Russia on 11.08.2010 N 41970). (In Russ.)]

[4] СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards "Hygienic requirements for the design and operation of X-ray machines and the conduct of X-rav examinations. SanPiN 2.6.1.1192-03". (In Russ)]

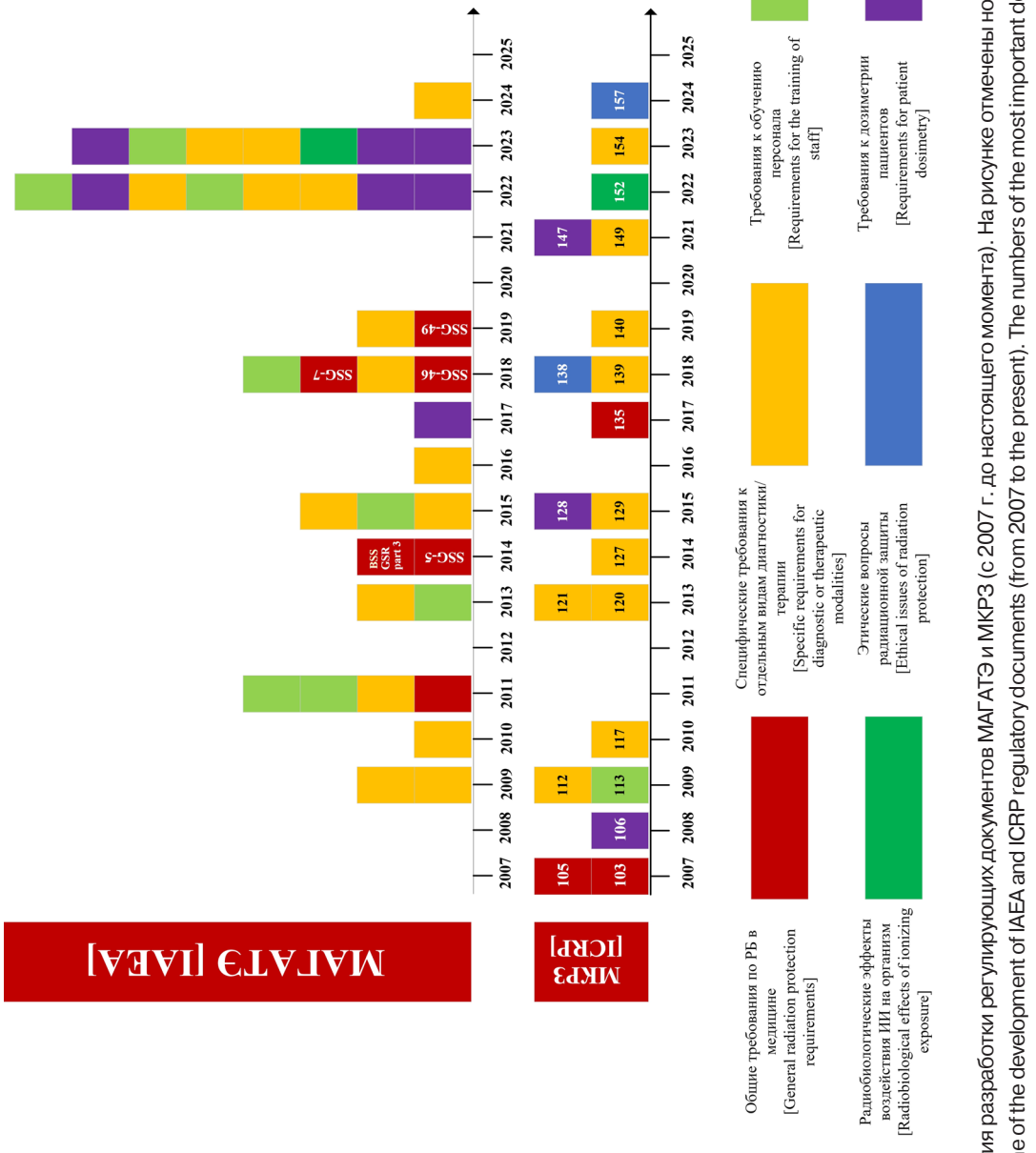


Рис. 1. Хронология разработки регулирующих документов МАГАТЭ и МКРЗ (с 2007 г. до настоящего момента). На рисунке отмечены номера наиболее важных документов

[Fig. 1. Timeline of the development of IAEA and ICRP regulatory documents (from 2007 to the present). The numbers of the most important documents are marked in the figure]

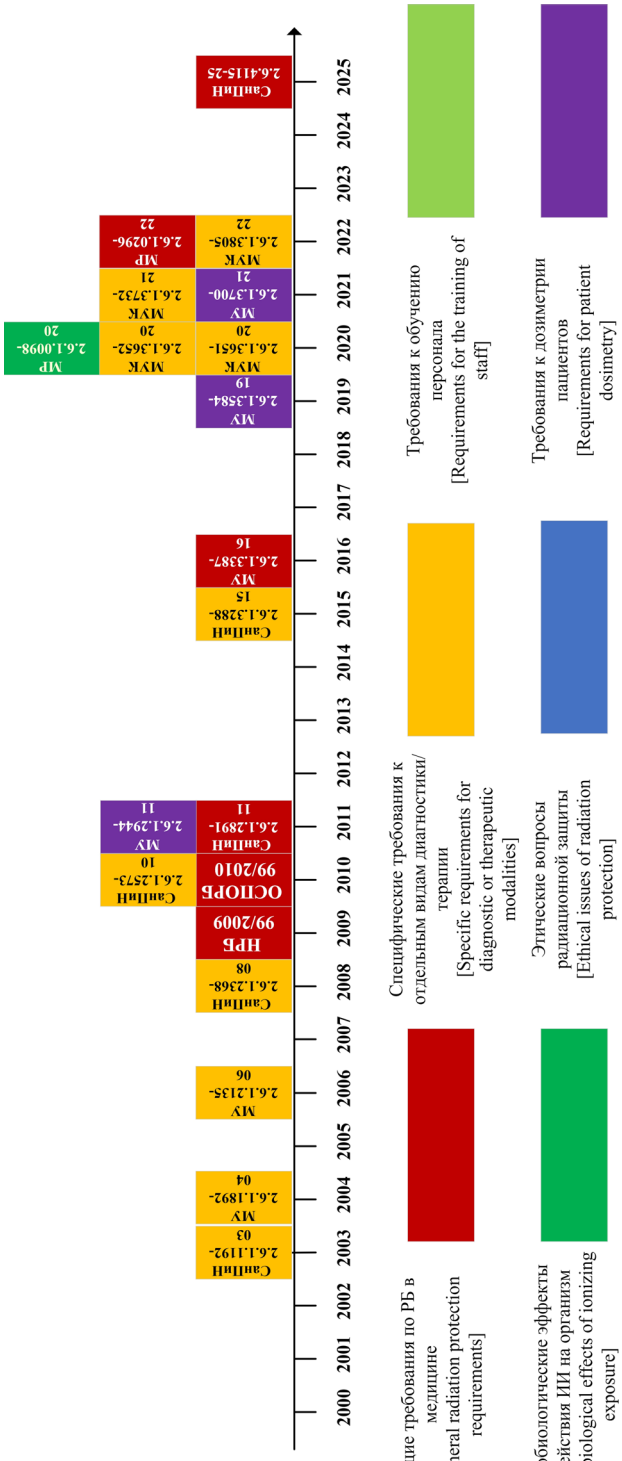


Рис. 2. Хронология разработки отечественных регулирующих документов в области обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении (с 2000 г. до настоящего момента). На рисунке не показан Федеральный закон №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (1996 г.)

[Fig. 2. Timeline of development of Russian regulatory documents in the field of radiation safety from medical exposure (from 2000 to the present). The figure does not include Federal Law No. 3-FZ "On Radiation Safety of the Population" (1996)]

Таблица 1

Сравнение отечественных и международных подходов к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении

[Table 1

Comparison of Russian and international approaches for the provision of radiation safety from medical exposure]

Показатель [Indicator]	Международная практика [International practice]	Отечественная практика [Russian practice]
Базовые принципы обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении [Basic principles of radiation safety from medical exposure]		
Использование принципа нормирования [The use of principle of limitation]	Нормирование при медицинском облучении не применяется [Dose limits are not applied to medical exposure]	Обеспечение радиационной безопасности практически здоровых лиц при проведении процедур с медицинскими ИИИ; лиц оказывающих помочь и поддержку пациентов; критерии выписки пациентов после радионуклидной терапии или брахитерапии основано на ограничении годовой эффективной дозы, интерпретируемой как гигиенический норматив [Provision of radiation safety to practically healthy persons during procedures with medical SIRs; persons assisting and supporting patients; discharge criteria for patients after radionuclide therapy or brachytherapy are based on the limitation of the annual effective dose interpreted as a hygienic norm]
Использование принципа обоснования [The use of principle of justification]	Обязательный элемент процесса назначения и проведения рентгенорадиологических диагностических и терапевтических процедур [An essential element of the process of prescribing and performing of X-ray diagnostic and therapeutic procedures]	Обязательный элемент процесса назначения и проведения рентгенорадиологических диагностических и терапевтических процедур [An essential element of the process of prescribing and performing of X-ray diagnostic and therapeutic procedures]
Использование принципа оптимизации [The use of principle of optimization]	Обязательно для всех категорий лиц, облучаемых медицинскими ИИИ (в том числе и для практически здоровых лиц, не получающих пользы от такого облучения) [Mandatory for all categories of persons exposed to medical radiation (including practically healthy persons who do not benefit from such exposure)]	Обязательно только для пациентов [Mandatory only for patients]
Область применения регулирующих документов [Scope of regulatory documents]	Обязательны для регуляторов в области радиационной безопасности, органов управления здравоохранением (регуляторов здравоохранения), профессиональных медицинских сообществ, производителей и импортеров оборудования для лучевой и радионуклидной диагностики и терапии. [Mandatory for radiation safety regulators, health authorities (health regulators), professional medical societies, manufacturers and importers of equipment for X-ray and nuclear medicine diagnostics and therapy]	Обязательны для регуляторов в области радиационной безопасности, персонала медицинских организаций, проводящих рентгенорадиологические процедуры [Mandatory for regulators in the field of radiation safety, personnel of medical facilities performing X-ray and nuclear medicine procedures]
Принцип обоснования [Principle of justification]		
Наличие критериев обоснованности назначения и проведения рентгенорадиологических процедур (критериев поддержки принятия решений в лучевой диагностике) [Availability of criteria for justification of prescribing and performing radiology procedures (decision support criteria in X-ray diagnostics)]	Есть, на международном и национальном уровнях [Yes, at international and national levels]	Нет [No]

Продолжение таблицы 1

Показатель [Indicator]	Международная практика [International practice]	Отечественная практика [Russian practice]
Основа для оценки обоснования (целесообразности) проведения рентгенорадиологической процедуры [Basis for assessing the rationale (appropriateness) for a radiology procedure]	Интегральная оценка по совокупности радиационного риска, диагностической эффективности и стоимости процедуры [integral assessment of the combined radiation risk, diagnostic efficacy and cost of the procedure]	Документы Роспотребнадзора – радиационный риск; Документы Минздрава – диагностическая эффективность [Rospotrebnadzor documents - radiation risk; Ministry of Health documents - diagnostic efficiency]
Наличие механизма проверки обоснованности назначений рентгенорадиологических процедур [Existence of a mechanism to verify the validity of prescriptions for radiology procedures]	На уровне медицинской организации в рамках клинического аудита (аудита отделений лучевой диагностики и терапии) [At the level of a medical facility as part of a clinical audit (audit of radiotherapy and X-ray diagnostics departments)]	На уровне медицинской организации в рамках проверки соблюдения клинических рекомендаций [At the level of the medical facility, as part of the verification of compliance with clinical guidelines]
Проверяемый показатель [Controlled indicator]	Соответствие критериям обоснованности назначения и проведения рентгенорадиологических процедур [Compliance with the criteria for justification of prescribing and performing radiology procedures]	Соответствие клиническим рекомендациям [Compliance with clinical guidelines]
	Принцип оптимизации [Principle of optimization]	
Элементы процесса оптимизации [Elements of the optimization process]	Регистрация, контроль и учет доз облучения пациентов. Установление индикаторных показателей (референтных диагностических уровней, достижимых доз, критериев аномально высокого облучения пациентов и пр.). Разработка и использование низкодозовых протоколов проведения рентгенорадиологических процедур. Использование низкодозового оборудования. Контроль качества оборудования. Использование программ обеспечения качества рентгенорадиологических процедур [Registration, control and accounting of patient doses. Establishment of indicators (diagnostic reference levels, achievable doses, criteria of abnormally high patient exposure, etc.). Development and use of low-dose protocols for radiological procedures. Use of low-dose equipment. Quality control of equipment. Use of quality assurance programmes for radiology procedures]	Контроль и учет доз облучения пациентов. Установление референтных диагностических уровней. Контроль качества оборудования. Для отдельных видов лучевой и радионуклидной диагностики. - использование программ обеспечения качества. [Control and accounting of patient doses. Establishment of diagnostic reference levels. Quality control of equipment. For individual types of X-ray and nuclear medicine modalities - use of quality assurance programmes.]
Требования к регистрации доз облучения пациентов в измеряемых показателях [Requirements for recording of patient doses in measurable quantities]	Обязательно для всех рентгенорадиологических процедур [Mandatory for all radiology procedures]	Только для интервенционных и рентгеноскопических исследований; процедур ядерной медицины [Only for interventional and fluoroscopic examinations; nuclear medicine procedures]
Определение эффективных доз пациентов [Assessment of patient effective doses]	Для выборок пациентов при проведении экспериментальных или эпидемиологических исследований [For patient samples in experimental or epidemiological studies]	Для каждого пациента для каждой диагностической рентгенорадиологической процедуры [For each patient for each diagnostic radiology procedure]

Продолжение таблицы 1

Показатель [Indicator]	Международная практика [International practice]	Отечественная практика [Russian practice]
Наличие набора показателей для контроля доз облучения пациентов [Availability of indicators for monitoring patient doses]	Референтные диагностические уровни – для выявления объектов с аномально высокими и низкими дозами облучения пациентов; Достижимые дозы – для определения результата оптимизационного процесса; Стандартные дозы – для идентификации радиационных аварий и/или происшествий [Diagnostic reference levels - to identify facilities with abnormally high and low patient doses; Achievable doses - to determine the result of the optimization process; Standard doses - for identification of radiation accidents and/or incidents]	Референтные диагностические уровни – для выявления объектов с аномально высокими и низкими дозами облучения пациентов [Diagnostic reference levels - to identify facilities with abnormally high and low patient doses]
Внедрение показателей для контроля доз облучения пациентов в практику [Implementation of indicators for monitoring patient doses in practice]	Обязательны для всех государств и медицинских организаций [Mandatory for all States and health-care facilities]	Только в рамках пилотных проектов [Only in the framework of pilot projects]
Наличие низкодозовых протоколов проведения рентгенорадиологических процедур [Availability of low-dose protocols for radiology procedures]	Обязательно для всех медицинских организаций для всей номенклатуры оборудования [Mandatory for all medical facilities for the entire range of equipment]	Обязательные требования не установлены, практическая реализация только в рамках пилотных проектов [There are no mandatory requirements, practical implementation only in the framework of pilot projects]
Обеспечение низких доз облучения пациентов как неотъемлемого элемента требованию к оборудованию для лучевой и радионуклидной диагностики и терапии [Ensuring low patient doses as an integral part of the requirements to radiology equipment]	Обязательно для всей номенклатуры оборудования [Mandatory for the entire range of equipment]	Обязательные требования не установлены [There are no mandatory requirements]
Требования к контролю качества оборудования для лучевой и радионуклидной диагностики и терапии [Requirements for quality control of radiology equipment]	Детальные обязательные требования для всех видов оборудования Основной акцент – контроль качества изображения [Detailed mandatory requirements for all types of equipment Main focus - image quality control]	Детализированные требования только к контролю эксплуатационных параметров рентгеновских аппаратов Для остального оборудования требования не установлены Основной акцент – контроль рентгеновского излучателя [Detailed requirements only for monitoring the operating parameters of X-ray machines No requirements for other equipment The main focus is the control of the X-ray emitter]
Требования к программам обеспечения качества проведения рентгенорадиологических процедур [Requirements for quality assurance programmes for radiology procedures]	Наличие программы обязательно для каждого объекта для всех видов рентгенорадиологических процедур [Availability of the programme is mandatory for each facility for all types of radiology procedures]	Рекомендации установлены только для компьютерной томографии и радионуклидной диагностики [Recommendations are set only for computed tomography and diagnostic nuclear medicine]
Требования к объектам, эксплуатирующим медицинские ИИИ [Requirements for facilities that operate medical SIR equipment]	Рекомендации по планировке диагностических и терапевтических кабинетов, проектированию защиты Обязательных требований нет Оценка уровня радиационной безопасности для каждого объекта индивидуальна исходя из характера использования объекта и оборудования [Recommendations on the layout of diagnostic and therapeutic rooms, design of shielding No mandatory requirements Assessment of radiation safety level for each facility is individual, based on the nature of facility and equipment used]	Набор обязательных требований к размещению и планировке кабинетов и отделений, расчету защиты, нерадиационным факторам, номенклатуре и площадям помещений и пр. Оценка уровня радиационной безопасности по соответствию обязательным требованиям [A set of mandatory requirements for the location and layout of rooms and departments, shielding calculations, non-radiation factors, nomenclature and areas of rooms, etc. Assessment of radiation safety level by compliance with mandatory requirements]

Окончание таблицы 1

Показатель [Indicator]	Международная практика [International practice]	Отечественная практика [Russian practice]
Требования к использованию оборудования для лучевой диагностики с низкодозовыми протоколами проведения процедур [Requirements for the use of radiological equipment with low-dose procedure protocols]	Обязательно для всех медицинских организаций и производителей оборудования для лучевой диагностики Дозы облучения пациентов – один из основных критериев выбора оборудования [Mandatory for all medical facilities and manufacturers of radiological equipment Patient doses are one of the main criteria for equipment selection]	Требования отсутствуют [No requirements]
	Прочие факторы [Other factors]	
Требования к обучению и подготовке персонала [Requirements for staff education and training]	Детальные обязательные требования к подготовке различных категорий персонала по вопросам радиационной безопасности [Detailed mandatory training requirements for different categories of personnel on radiation safety issues]	Детальные требования или рекомендации отсутствуют [No detailed requirements or recommendations]
Требования к риск-коммуникации с участниками диагностического процесса [Requirements for risk communication with participants of the diagnostic process]	Детальные рекомендации по информированию пациентов о последствиях проведения рентгенорадиологических исследований (радиационных рисках) [Detailed recommendations for informing patients about the consequences of radiological procedures (radiation risks)]	Детальные требования или рекомендации отсутствуют [No detailed requirements or recommendations]
Идентификация радиационных аварий и происшествий [Identification of radiation accidents and incidents]	Детальная классификация всех нештатных ситуаций при диагностическом и терапевтическом облучении Установленные критерии отнесения к различным ситуациям [Detailed classification of all abnormal situations during diagnostic and therapeutic irradiation Established criteria for categorising the different situations]	Критерии отнесения к радиационным авариям для пациентов установлены только для процедур ядерной медицины [Criteria for attribution to radiation accidents for patients are established for nuclear medicine procedures only]

Сравнение отечественных и международных подходов к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении позволяет выявить ряд принципиальных различий. В международном законодательстве предусматривается единый системный подход к обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении, в котором задействованы все участники диагностического и терапевтического процесса: персонал медицинской организации (как участвующий в проведении рентгенорадиологических исследований, так и обеспечивающий радиационную безопасность в медицинской организации); профессиональные сообщества рентгенологов, радиологов, медицинских физиков и пр.; производители оборудования для лучевой диагностики и терапии. Ряд задач, например, проведение контроля качества оборудования для лучевой диагностики и терапии, решаются в комплексе персоналом медицинских организаций и представителями компании-производителя оборудования. МАГАТЭ и МКРЗ разрабатывают базовые требования, которые являются обязательными для всех участников диагностического процесса. Целевая аудитория отечественных обязательных требований четко не определена. В первую очередь, СанПиНы, МУ, МУК и МР разрабатываются для органов и организаций Роспотребнадзора, также ими может пользоваться персонал медицинских организаций и аккредитованных лабораторий радиационного контроля. При этом межведомственное взаимодействие по вопросам обеспечения радиационной безопасности в медицине отсутствует.

Значительного снижения уровней медицинского облучения в развитых странах удалось добиться за счёт внедрения принципа обоснования через систему критериев обоснованности назначений (поддержки принятия решений в лучевой диагностике) на национальном уровне и внедрение их в алгоритмы проведения процедур лучевой диагностики [14–16]. Данные критерии содержат наборы рекомендуемых методов лучевой диагностики для выбранного патологического состояния, отранжированных исходя из комплексных показателей, включающих в себя диагностическую эффективность процедуры, радиационный риск и стоимость проведения процедуры (или её доступность). Использование таких систем в рамках диагностического процесса позволяет в течение нескольких лет обеспечить переход на рентгенорадиологические процедуры, обладающие оптимальным соотношением между диагностической эффективностью и дозой облучения пациента. В свою очередь, это позволяет снизить число проводимых высокодозовых исследований и практически полностью свести к минимуму процедуры, выполняющиеся вообще без назначения. Разработка таких критериев принятия решений происходит совместно регуляторами в области здравоохранения и ра-

диационной безопасности, что позволяет обеспечить баланс между потребностью врача в диагностической информации и желанием снизить уровни медицинского облучения пациентов. В РФ клинические рекомендации[5], которые выступают ближайшим аналогом таких систем поддержки принятия решений, разрабатываются Министерством здравоохранения без участия специалистов по радиационной безопасности и при выборе методов лучевой диагностики не приводят никакой справочной информации об уровнях облучения или радиационных рисках пациентов [17].

В международной практике обеспечение необходимого уровня радиационной защиты пациентов осуществляется за счёт пассивных мер: выбора оптимальных рентгенорадиологических процедур, проводимых на современном низкодозовом оборудовании, прошедшем контроль качества, и на котором установлены оптимальные по соотношению дозы облучения и качества изображения протоколы. Регистрация доз облучения пациентов проводится, как правило, в автоматическом режиме, с использованием электронных радиологических информационных систем. Это позволяет сократить временные затраты персонала на обеспечение радиационной защиты пациентов и свести к минимуму различные процедурные ошибки. В отечественной практике процесс обоснования, как правило, не учитывает радиационную компоненту (риск) для пациента; диагностика пациентов проводится на стандартных (в том числе высокодозовых) протоколах проведения процедур; регистрация доз облучения ведется вручную вне зависимости от наличия электронных радиологических систем за счет необходимости расчета эффективных доз.

В международной практике используются исключительно измеренные дозовые величины. Анализ таких данных позволяет оценивать эффективность работы аппаратов для лучевой диагностики и терапии и своевременно определять тот момент, когда дозы облучения становятся аномально высокими или низкими. Однако оценить радиационный ущерб с использованием этих величин невозможно. В РФ на протяжении последних 20 лет оценка уровней облучения пациентов ведётся в величине эффективной дозы – величине, являющейся мерой радиационного риска. Точность определения данной величины ниже, методика определения эффективной дозы зачастую сложна для медицинского персонала, но по результатам её определения можно оценить радиационный ущерб вследствие проведённой рентгенорадиологической процедуры. В международной практике эффективные дозы при медицинском облучении также определяются, но не для каждого пациента, а в рамках масштабных исследований доз облучения пациентов на уровне региона или страны, или при проведении экспериментальных работ, направленных на разработку низкодозовых режимов проведения рентгенорадиологических процедур.

Несмотря на отсутствие нормирования медицинского облучения, в международной практике используется различные индикаторные показатели, направленные на идентификацию случаев переоблучения пациентов. В качестве таких показателей применяются референтные диагностические уровни, достижимые дозы, стандартные дозы, а также поглощённые дозы в радиочувствительных органах и тканях при превышении которых возможно развитие негативных эффектов для пациента. Эти показатели позволяют контролировать уровни медицинского облучения, а также своевременно выявлять радиационные аварии и происшествия. В отечественной практике, несмотря на наличие общих требований к контролю медицинского облучения, такие показатели в практику не внедрены. Контроль доз облучения пациентов при медицинском облучении реализуется только на уровне медицинской организации через Единую государственную систему контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД). Таким образом, отсутствует принципиальная возможность выявлять пациентов, получивших аномально высокие дозы облучения и отслеживать развитие детерминированных и стохастических эффектов.

Особое внимание в международной практике уделяется вопросам подготовки персонала медицинских организаций по вопросам радиационной безопасности персонала и пациентов. При этом для оптимизация радиационной защиты пациентов и контроль качества оборудования возложены на выделенный персонал медицинских организаций – медицинских физиков. Их подготовке МАГАТЭ уделяет особое внимание: разработаны учебники по медицинской физике в диагностической радиологии и лучевой терапии [18, 19]; подготовлены учебные программы для различных категорий медицинских физиков; внедрены международные программы аккредитации медицинских физиков. Следует отметить, что большинство документов МАГАТЭ по подготовке медицинских физиков доступны и на русском языке. В РФ требования к подготовке медицинского персонала по вопросам радиационной безопасности представлены лишь формально, а медицинские физики присутствуют только в штате отделений лучевой терапии и ядерной медицины. Профессиональный стандарт «Медицинский физик» находится на утверждении Минтрудом в течение 8 лет[6].

Идентифицированные проблемы и предложения по их решению

Основной проблемой обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении в РФ по результатам выполненного анализа данных является рост уровней медицинского облучения населения РФ. Растет коллективная доза от медицинского облучения, растут средние эффективные дозы на душу населения от медицинского облучения (в среднем на 20 % в год с учетом пандемии COVID-19). Эти показатели будут только увеличиваться за счет повышения доступности методов лучевой диагностики и внедрения новых технологий медицинской визуализации. Необходимо разработать и внедрить в практику комплекс меро-

[5] Проект Постановления Правительства Российской Федерации "О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2021 г. N 1968" (подготовлен Минздравом России 16.01.2024) (документ принят). [Draft Resolution of the Government of the Russian Federation “On Amending Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1968 of November 17, 2021” (prepared by the Ministry of Health of the Russian Federation on January 16, 2024) (adopted). (In Russ.)]

[6] Проект Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ "Об утверждении профессионального стандарта "Медицинский физик" (подготовлен Минтрудом России 27.11.2018) URL: https://base.garant.ru/56775278/ (Дата обращения: 01.05.2025). [Draft Order of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation “On the Approval of the Professional Standard ‘Medical Physicist’” (prepared by the Ministry of Labour of Russia on November 27, 2018). Available from: https://base.garant.ru/56775278/ (Accessed May 01,2025). (In Russ.)]

приятий, которые позволят как минимум удержать на приемлемом уровне дозы облучения и обеспечить необходимый уровень радиационной защиты пациентов. Основной задачей обеспечения радиационной защиты населения РФ при медицинском облучении на период до 2030 г. является снижение (или как минимум недопущение дальнейшего роста) доз медицинского диагностического облучения. Решение данной задачи может быть достигнуто исключительно за счёт комплексного подхода, реализуемого всеми федеральными органами исполнительной власти, регулирующими различные составляющие процесса лучевой диагностики.

По результатам анализа отечественных и международных регулирующих документов возможно выделить следующие основные направления совершенствования отечественной системы радиационной безопасности при медицинском облучении:

– налаживание межведомственного взаимодействия между Роспотребнадзором, Минздравом и Росздравнадзором для создания комплексного подхода к обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении;

– совершенствование системы регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов

– совершенствование подходов к оценке радиационного ущерба (риска) для пациентов, проходящих рентгенорадиологические процедуры;

– переработка и актуализация российских нормативно-правовых актов, содержащих обязательные требования, предъявляемые к радиационной защите пациентов.

В рамках первого направления необходимо определить и конкретизировать полномочия Роспотребнадзора, Министерства здравоохранения и Росздравнадзора в контексте обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении. Роспотребнадзор не может самостоятельно контролировать все аспекты обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении. Министерство здравоохранения должно быть ответственным за практическую реализацию принципа обоснования путём разработки и актуализации клинических рекомендаций с учётом радиационного риска; разработку методов диагностики и лечения с оптимальным соотношением между дозой облучения пациента и качеством получаемой диагностической информации или оказанного лечения. Росздравнадзор должен учитывать ожидаемые (планируемые) дозы облучения пациентов и качества изображения при регистрации новых медицинских изделий с медицинскими ИИИ. Распределение полномочий между федеральными органами исполнительной власти в контексте обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении представлено в таблице 2.

Таблица 2

Предложения по распределению полномочий между федеральными органами исполнительной власти при обеспечении радиационной безопасности при медицинском облучении

[Table 2

Proposals on the distribution of powers between federal executive authorities in ensuring radiation safety from medical exposure]

Компонент системы радиационной безопасности [Radiation safety component]	Роспотребнадзор [Rospotrebnadzor]	Министерство здравоохранения [Ministry of Healthcare]	Росздравнадзор [Roszdravnadzor]
Ограничение доз (как часть системы оптимизации радиационной защиты населения) [Dose limitation (as part of the system for optimizing radiation protection of the public)]	Гигиеническое обоснование численных значений граничных доз [Hygienic substantiation of numerical values of dose constraints]	Разработка методик проведения исследований практически здоровых лиц с использованием медицинских ИИИ [Development of methods for conducting studies of practically healthy individuals using medical SIRs]	Утверждение методик проведения клинических испытаний с использованием медицинских ИИИ Внедрение в процесс регистрации медицинских изделий с медицинскими ИИИ оценки доз облучения пациентов [Approval of methods for conducting clinical trials with the use of medical SIRs Introduction of patient dose estimation into the registration process for medical devices with medical SIRs]
Обоснование [Justification]	Оценка радиационного ущерба (риска) для лиц различного пола и возраста за счет проведения рентгенорадиологических процедур [Assessment of radiation detriment (risk) to persons of different sex and age from radiological procedures]	Разработка клинических рекомендаций с ранжированием методов лучевой диагностики с учетом радиационного риска [Development of clinical recommendations with ranking radiological modalities considering radiation risk]	Внедрение проверки обоснованности назначения рентгенорадиологических процедур в контроль качества оказания медицинской помощи [Implementation of the verification of the validity of the prescription of radiology procedures in the quality control of medical care provision]

Окончание таблицы 2

Компонент системы радиационной безопасности [Radiation safety component]	Роспотребнадзор [Rospotrebnadzor]	Министерство здравоохранения [Ministry of Healthcare]	Росздравнадзор [Roszdravnadzor]
Оптимизация [Optimization]	Анализ уровней облучения пациентов при проведении рентгенорадиологических процедур Установление референтных диагностических уровней Идентификация медицинских организаций с аномально высокими и низкими уровнями облучения пациентов Гигиеническое обоснование численных значений показателей для контроля доз облучения пациентов Разработка методов оценки доз облучения пациентов [Analysis of patient doses from radiological procedures Establishment of diagnostic reference levels Identification of medical facilities with abnormally high and low patient exposure levels Hygienic substantiation of numerical values of indicators for controlling patient doses Development of methods for estimating patient doses]	Обеспечение непрерывной регистрации доз облучения пациентов Разработка низкодозовых методик проведения рентгенорадиологических процедур Проведение мероприятий по снижению доз облучения пациентов Реагирование на радиационные аварии и случаи переоблучения пациентов [Ensuring continuous recording of patient radiation doses Development of low-dose protocols for radiological procedures Implementation of measures to reduce patient doses Responding to radiation accidents and overexposure of patients]	Внедрение в процесс регистрации медицинских изделий с медицинскими ИИИ оценки доз облучения пациентов Внедрение контроля доз облучения в контроль качества оказания медицинской помощи [Implementation of patient dose estimation into the registration process for medical devices with medical SIRs. Introduction of radiation dose monitoring into quality control of medical care provision]
Контроль качества оборудования и обеспечение качества проведения рентгенорадиологических процедур [Quality control of equipment and quality assurance of radiology procedures]	Разработка требований к набору процедур контроля качества оборудования Разработка гигиенических критериев для оценки качества проведения рентгенорадиологических процедур по радиационному фактору [Development of requirements for a set of quality control procedures for equipment Development of hygienic criteria for assessing the quality of radiological procedures by radiation factor]	Разработка и внедрение программ обеспечения качества в лучевой диагностике Обеспечение выполнения процедур контроля качества и обеспечения качества Проведение анализа соотношения доз облучения пациентов и качества изображения [Developing and implementing quality assurance programmes in radiology Ensuring that quality control and quality assurance procedures are implemented Analyses of the relationship between patient dose and image quality]	Внедрение в процесс регистрации медицинских изделий с медицинскими ИИИ оценки соотношения доз облучения пациентов и качества изображения [Introduction of assessment of the correlation between patient doses and image quality into the registration process of medical devices with medical SIRs]

Основным способом снижения уровней медицинского облучения населения РФ должно стать исключение необоснованных (или недостаточно обоснованных) рентгенорадиологических процедур. Как показывает пример зарубежных стран, необходимо изменять структуру лучевой диагностики с переходом на относительно низкодозовые методы медицинской визуализации и назначению высокодозовых методов исключительно по показаниям. Для этого необходимо при разработке клинических рекомендаций Министерства здравоохранения вводить ранжирование рекомендованных методов лучевой диагностики по сочетанию доказанной диагностической эффективности и уровня радиационного риска (или эффективной дозы как меры риска) за процедуру. Методики проведения высокодозовых исследований должны быть дифференцированы (по числу фаз, применению высоко- или низкодозовых протоколов, вводимых активностей радиофармацевтических лекарственных препаратов и пр.) в зависимости от диагностируемого патологического состояния. Как показывают отечественные и международные исследования, проведение исследований одной и той же анатомической области в относительно стандартных условиях (например, компьютерной томографии

органов грудной клетки) может быть ассоциировано с эффективными дозами от 1 до 10 мЗв в зависимости от диагностической цели. Различия в дозах облучения будут обусловлены использованием высокодозовых или низкодозовых протоколов, использованием контраста, проведение контрастного исследования в несколько фаз. Вся эта специфика должна быть отражена в методиках выполнения исследования применительно к каждому патологическому состоянию. При этом приоритетно следует разрабатывать такие методики для исследований компьютерной томографии, ядерной медицины, рентгеноскопических и интервенционных исследований. Это позволит существенно снизить дозы от исследований, вносящих более 80 % вклада в коллективную дозу медицинского облучения населения РФ.

Дозы облучения пациентов при выполнении одной и той же рентгенорадиологической процедуры по одной и той же методике на различных моделях рентгеновских аппаратов или компьютерных томографов также могут отличаться вплоть до нескольких раз за счет различий в характеристиках приёмника изображения, наличия программного обеспечения, позволяющего получать диагностическую информацию с низкими дозами облучения пациентов. Это особенно актуально при оснащении новых медицинских организаций или при выборе оборудования для переоснащения аппаратного парка. При выборе оборудования для процедур рентгеновской и радионуклидной диагностики необходимо, в том числе, учитывать и уровни доз облучения пациентов для данного оборудования. При регистрации медицинских изделий с медицинскими ИИИ необходимо предоставлять результаты проспективной оценки доз облучения пациентов для базовых протоколов проведения рентгенорадиологических процедур, установленных на регистрируемом оборудовании.

Заключение

Представленные выше подходы к обеспечению радиационной защиты пациентов являются взаимодополняющими: характеристики современного оборудования позволяют разрабатывать и применять широкий спектр протоколов проведения рентгенорадиологических процедур, которые, в свою очередь, должны учитываться в клинических рекомендациях и методиках проведения исследований. Данные подходы являются пассивными и могут быть реализованы без дополнительной нагрузки на персонал медицинских организаций. Использование единых методик проведения исследований и требований к оснащению оборудованием для рентгеновской и радионуклидной диагностики позволит также гармонизировать проведение рентгенорадиологических процедур между различными медицинскими организациями, тем самым уменьшая разброс доз облучения пациентов при проведении идентичных рентгенорадиологических процедур в РФ.

Для успешной реализации представленных подходов к радиационной защите пациентов необходимо совершенствовать действующую в РФ систему регистрации, контроля и учета доз медицинского облучения. Как было показано в работе, данная система не имеет аналогов в международной практике и позволяет на регулярной основе получать информацию по дозам облучения пациентов во всех медицинских организациях РФ вне зависимости от их ведомственной подчиненности. Однако, для повышения достоверности собираемых данных, учета изменений в структуре лучевой диагностике и изменений в способах оценки доз облучения пациентов, данная система должна систематически актуализироваться с учетов следующих задач:

– расширение номенклатуры рентгенорадиологических процедур с учетом внедрения новых методов рентгеновской и радионуклидной диагностики;

– раздельный учет доз облучения пациентов различных возрастных категорий;

– раздельный учет доз облучения для пациентов мужского и женского пола;

– учет доз облучения на уровне отдельного аппарата для рентгеновской или радионуклидной диагностики;

– переход на учет измеряемых дозовых величин как основы для расчетных эффективных доз;

– интеграция системы регистрации, контроля и учета доз медицинского облучения в электронные информационные системы здравоохранения.

Первые две задачи были частично решены в рамках актуализации формы №3-ДОЗ системы ЕСКИД в 2022 г. Решение остальных задач будет происходить в рамках дальнейшего совершенствования системы ЕСКИД. Следует еще раз обратить внимание, что без активного взаимодействия с Минздравом реализовать все необходимые изменения в системе регистрации и учета доз облучения пациентов невозможно.

Также, для повышения достоверности собираемых данных об уровнях медицинского облучения населения РФ, необходимо переходить на обязательную регистрацию доз облучения пациентов в измеряемых дозовых величинах. Используемая для задач радиационной защиты в медицине эффективная доза является расчетной величиной, определяемой на основе измеренных дозовых величин. Без сведений об измеренных показателях невозможно верифицировать результаты расчета эффективных доз. Дополнительным аргументом в пользу перехода на приоритетное использование измеренных дозовых величин является сложность корректного определения эффективной дозы. Для новых процедур рентгеновской и радионуклидной диагностики методики расчета эффективных доз могут отсутствовать; в процессе их разработки обеспечивать регистрацию, контроль и учет доз облучения возможно по измеренным показателям. Для современных методов лучевой диагностики (например, интервенционных исследований) методика расчета эффективной дозы может быть слишком сложной для ответственного за этот расчет среднего медицинского персонала (рентгенолаборантов).

Еще раз следует обратить внимание на необходимость наличия в подразделениях рентгеновской и радионуклидной диагностики медицинских организаций, проводящих диагностические рентгенорадиологические процедуры, специализированного персонала, ответственного за оптимизацию радиационной защиты и дозиметрию пациентов – медицинских физиков. По мере усложнения и увеличения требований к контролю качества оборудования, разработки низкодозовых протоколов проведения исследований, требований к дозиметрии пациентов, становится все более затруднительным (а зачастую невозможным) реализовывать их с задействованием внешних специалистов (представителей аккредитованных лабораторий радиационного контроля, инженеров-аппликаторов производителей медицинского оборудования и пр.). Наличие в штате медицинской организации выделенного персонала с необходимыми профессиональными компетенциями позволяет:

– применять на практике весь спектр мероприятий для снижения доз облучения пациентов;

– снять необоснованную дополнительную нагрузку с персонала отделений лучевой диагностики;

– разрабатывать и внедрять в практику более сложные и эффективные меры по оптимизации радиационной защиты при медицинском облучении.

Неприменимость нормирования медицинского облучения не подразумевает отсутствие необходимости контролировать уровни медицинского облучения пациентов для выявления аномально высоких и низких доз облучения, а также идентификации радиационных аварий. Для этого необходимо разработать и внедрить в систему нормативно-методических документов Роспотребнадзора и Минздрава наборы индикаторных показателей, превышение которых будет указывать на необходимость поиска причин аномально высокого или низкого облучения пациентов. Это особенно актуально для интервенционных исследований, процедур компьютерной томографии и радионуклидной диагностики, при которых возможно развитие детерминированных эффектов (кожных поражений). Также необходимо контролировать годовые эффективные дозы пациентов, которые для ряда заболеваний могут превышать 200 и 500 мЗв (уровни, уже не относящиеся к диапазону малых доз, при которых возможно развитие пороговых эффектов в отдельных радиочувствительных органах и тканях). Контроль доз облучения пациентов должен проводиться применительно к каждой рентгенорадиологической процедуре для каждого пациента, что требует выполнения его в каждой медицинской организации непрерывно. Контроль доз облучения пациентов целесообразно также включить в процедуры контроля качества оказания медицинской помощи.

Для гигиенического обоснования индикаторных показателей для контроля доз медицинского облучения пациентов, а также для оценки последствий для здоровья пациентов после проведения рентгенорадиологических процедур, необходимо совершенствовать методы оценки радиационного ущерба (риска) для пациентов различного пола и возраста. Целесообразно переходить на оценку радиационного ущерба в показателях, которые могут быть достоверно соотнесены с ущербами от других факторов, например, на число потерянных вследствие облучения лет здоровой полноценной жизни (DALY). Это позволит напрямую сравнивать между собой ущерб вследствие диагностического облучения и ущерб от выбранного патологического состояния в контексте процесса обоснования в рамках разработки клинических рекомендаций Минздрава.

Ряд поставленных задач был решен в процессе актуализации и переработки нормативно-методических документов Роспотребнадзора. В частности, новые требования к регистрации, контролю и учету доз медицинского облучения пациентов были включены в СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения». Однако, как уже было показано выше, успешное решение задач по обеспечению радиационной защиты пациентов при медицинском облучении возможно только при комплексном взаимодействии разных федеральных органов исполнительной власти. Это может быть реализовано только в рамках переработки Федерального закона №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». Переработка №3-ФЗ должна также включать в себя гармонизацию с требованиями основного стандарта безопасности МАГАТЭ BSS GSR part 3. Только после переработки №3-ФЗ будет возможна комплексная разработка регулирующих документов Минздрава и Росздравнадзора, а также переработка Норм радиационной безопасности с последующей детализацией новых требований в методических документах.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

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

Косарлукова Е.А. – поиск и анализ литературы, анализ и интерпретация результатов, редактирование текста статьи.

Библин А.М. – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Чипига Л.А. – поиск и анализ литературы, описание материалов и методов, перевод.

Вишнякова Н.М. – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Попова А.Ю., Водоватов А.В., Романович И.К. и др. Влияние пандемии COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении в 2020 г. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 6-39. DOI: 10.21514/1998-426x-2022-15-3-6-39.
2. Водоватов А.В., Косарлукова Е.А., Библин А.М. и др. Анализ уровней медицинского облучения населения Российской Федерации в 2023 г. с использованием актуализированной формы № 3–ДОЗ // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 85-99. DOI: 10.21514/1998-426x-2025-18-1-85-99.
3. Дружинина П.С., Романович И.К., Водоватов А.В. и др. Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 101-117. DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-3-101-117.
4. Водоватов А.В., Романович И.К., Алехнович А.В. и др. Обеспечение радиационной безопасности пациентов в Российской Федерации при диагностическом медицинском облучении: текущее состояние, проблемы и решения // Медицинская физика. 2024. № 4. С. 33-49. DOI 10.52775/1810-200X-2024-104-4-33-49.
5. Братилова А.А., Барковский А.Н. Медицинское облучение пациентов за счет рентгенорадиологических диагностических процедур, проведенных в 2022 г. в медицинских организациях Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 105-121. DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-4-105-121.
6. Юдин А.Л., Абович Ю.А., Юматова О.Ю. и др. COVID-19. Вопросы диагностики и лечения поражения легких // Медицинская визуализация. 2020. Т. 24, № 2. С. 37-49. DOI: 10.24835/1607-0763-2020-2-37-49.

7. Сперанская А.А. Лучевые проявления новой коронавирусной инфекции COVID-19 // Лучевая диагностика и терапия. 2020. Т. 11, № 1. С. 18-25. DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-1-18-25.
8. IAEA Safety Standards Series. GSR Part 1. Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety. IAEA: Vienna, 2010. 42 p.
9. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP. 2007. Vol. 37, No 2-4. 332 p.
10. Публикация 105 МКРЗ. Радиационная защита в медицине. СПб.: НИИРГ, 2011. 66 с.
11. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135 // Annals of the ICRP. 2017. Vol. 46, No 1. 147 p.
12. IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna, 2014. 518 p.
13. IAEA Safety Standards Series. SSG-46. Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. IAEA: Vienna, 2018. 320 p.
14. American College of Radiology. Appropriateness Criteria. URL:https://acsearch.acr.org/list (Дата обращения: 01.05.2025).
15. iRefer Royal College of Radiologists. URL: https://www.irefer.org.uk/ (Дата обращения: 01.05.2025).
16. European Society of Radiology. Clinical Decision Support ESR iGuide. URL: https://www.myesr.org/eu-international-affairs/policy-topics/esr-iguide/ (Дата обращения: 01.05.2025).
17. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Клинические рекомендации. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/clin_rec (Дата обращения: 01.05.2025).
18. Rosenberg I. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students // British Journal of Cancer. 2008. Vol. 98, № 5. P. 1020-1020. DOI: 10.1038/sj.bjc.6604224.
19. Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students. Ed. by Dale L. Bailey et al. IAEA: Vienna, 2014.

Поступила: 26.05.2025

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент, кафедра общей гигиены, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovatoff@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Косарлукова Елена Алексеевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0009-0007-6476-9571

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

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия; профессор, кафедра коммунальной гигиены, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-7165-4923

Для цитирования: Водоватов А.В., Чипига Л.А., Косарлукова Е.А., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Медицинское диагностическое облучение в Российской Федерации: проблемы регулирования и предложения по их решению // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 46–61. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-46-61

Medical diagnostic exposure in the Russian Federation: regulatory problems and proposals for their solution

Aleksandr V. Vodovatov[1,2], Larisa A. Chipiga[1,3,4], Elena A. Kosarlukova[1], Artem M. Biblin[1], Nadezhda M. Vishnyakova[1,5]

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

[2] Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

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

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

[3] I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

The analysis of trends in levels of radiation exposure of the public in the Russian Federation in recent years indicates a steady increase in patient doses from medical exposure. To maintain the necessary level of radiation protection of patients, the system of regulatory support of radiation safety for medical exposure in the Russian Federation needs to be updated and adapted to the current state of Russian X-ray diagnostics and therapy. The aim of this study was to substantiate the revision of the regulatory and legal framework in the field of radiation safety for medical exposure. For this purpose, international and Russian approaches to the provision of radiation safety for medical exposure were compared; the main problems were identified and proposals for their solution were formulated. Within the framework of this work, the analysis of international and national regulatory documents in the field of radiation safety, regulating the requirements for limitation, justification and optimization for medical exposure was performed. Based on the results of the analysis, the main directions of improvement of the national system of radiation safety for medical exposure were identified: establishment of interdepartmental interaction between Rospotrebnadzor, Ministry of Health and Roszdravnadzor to create an integrated approach to radiation safety for medical exposure; improvement of the system of registration and accounting of patient doses; improvement of approaches to assessment of radiation detriment (risk) for patients undergoing radiological procedures. A scheme for distribution of powers to ensure radiation protection of patients between Rospotrebnadzor, the Ministry of Health and Roszdravnadzor has been proposed. Some of the proposals were implemented in SanPiN 2.6.4115-25 "Sanitary and Epidemiological Requirements in the Field of Radiation Safety of the Population when Handling Sources of Ionizing Radiation."

Key words: *medical exposure, patients, optimization, justification, patient doses, radiation protection.*

Authors' personal contribution

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

Kosarlukova E.A. – search and analysis of literature, analysis and interpretation of the results, editing the text of the article.

Biblin A.M. – development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Chipiga L.A. – search and analysis of literature, description of materials and methods, translation.

Vishnyakova N.M. – development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

The study was not supported by sponsorship.

References

1. Popova AYu, Vodovatov AV, Romanovich IK, Ryzhov SA, Druzhinina PS, Akhmatdinov RR. The impact of the COVID-19 pandemic on the structure of radiation diagnostics and collective doses of the population of the Russian Federation under medical irradiation in 2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(3): 6-39. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426x-2022-15-3-6-39.
2. Vodovatov AV, Kosarlukova EA, Biblin AM, Akhmatdinov RR, Bratilova AA. Analysis of medical exposure levels of the Russian Federation population in 2023 using the updated form No. 3–DOZ. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(1): 85-99. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426x-2025-18-1-85-99.
3. Druzhinina PS, Romanovich IK, Vodovatov AV, Chipiga LA, Akhmatdinov RR, Bratilova AA, et al. Trends in the development of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 101-117. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-3-101-117.
4. Vodovatov AV, Romanovich IK, Alekhnovich AV, Biblin AM, Akhmatdinov RR, Druzhinina PS, et al. Radiation Safety of Patients in Diagnostic Radiology in the Russian Federation: Current Status, Problems and Solutions. *Medical Physics = Meditsinskaya Fizika*. 2024;(4): 33-49. (In Russian). DOI: 10.52775/1810-200x-2024-104-4-33-49.
5. Bratilova AA, Barkovsky AN. Medical exposure of patients from diagnostic X-ray examinations performed in medical organizations of the Russian Federation in 2022. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 105-121. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-4-105-121.

Aleksandr V. Vodovatov
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E–mail: vodovatoff@gmail.com

6. Yudin AL, Abovich YuA, Yumatova EYu, Bronov OYu. COVID-19. Diagnosis and treatment of lung damage. *Meditsinskaya vizualizatsiya = Medical Visualization*. 2020;24(2): 37-49. (In Russian). DOI: 10.24835/1607-0763-2020-2-37-49
7. Speranskaya AA. Radiological signs of a new coronavirus infection COVID-19. *Luchevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020;11(1): 18-25. (In Russian). DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-1-18-25.
8. IAEA Safety Standards Series. GSR Part 1. Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety. IAEA: Vienna; 2010. 42 p.
9. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 332.
10. ICRP Publication 105. Radiation Protection in Medicine. Russian translation under M. Balonov. Saint Petersburg: NIIRG; 2011. 66 p. (In Russian).
11. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. *Annals of the ICRP*. 2017; 46(1).
12. IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna; 2014. 518 p.
13. IAEA Safety Standards Series. SSG-46. Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. IAEA: Vienna; 2018. 320 p.
14. American College of Radiology. Appropriateness Criteria. Available from: https://acsearch.acr.org/list [Accessed May 1, 2025].
15. iRefer Royal College of Radiologists. Available from: https://www.irefer.org.uk/ [Accessed May 1 ,2025].
16. European Society of Radiology. Clinical Decision Support ESR iGuide. Available from: https://www.myesr.org/eu-international-affairs/policy-topics/esr-iguide/ [Accessed May 1, 2025].
17. Ministry of Health of the Russian Federation. Clinical Recommendations. Available from: https://cr.minzdrav.gov.ru/clin_rec [Accessed May 1, 2025]. (In Russian).
18. Rosenberg I. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. *British Journal of Cancer*. 2008;98(5): 1020-1020. DOI: 10.1038/sj.bjc.6604224.
19. Nuclear Medicine Physics : A Handbook for Teachers and Students. Ed. by Dale L. Bailey et al. IAEA: Vienna; 2014.

Received: May 26, 2025

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia (8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, Research Fellow, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Research Fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; Docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Elena A. Kosarlukova – Acting Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0007-6476-9571

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

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Wellbeing; Professor of the Department of Hygiene of the conditions of education, training, labor and radiation hygiene of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-7165-4923

For citation: Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Kosarlukova E.A., Biblin A.M., Vishnyakova N.M. Medical diagnostic exposure in the Russian Federation: regulatory problems and proposals for their solution. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 46–61. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-46-61

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-62-74
УДК: 614.876:616-052(571.62)

Проблемы верификации сведений о дозах медицинского облучения в формах № 3–ДОЗ и предложения по их решению

Водоватов А.В.[1,2], Косарлукова Е.А.[1], Библин А.М.[1], Ахматдинов Р.Р.[1], Вишнякова Н.М.[1,3]

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

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

[3] Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

В работе проведен анализ данных формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ за 2022–2023 гг., выявивший значительный рост доз медицинского облучения пациентов в Российской Федерации, особенно в Хабаровском крае. Целью исследования стала разработка методики верификации этих данных на региональном уровне. Материалы и методы: Использованы методы расчета средней эффективной дозы и сравнения с референтными значениями научно-исследовательского института радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева. Результаты исследования и обсуждение: Результаты показали, что в медицинских организациях Хабаровского края зафиксированы аномально высокие средние эффективные дозы, существенно влияющие на коллективную дозу региона. Предложен алгоритм выявления таких аномалий для оптимизации радиационной безопасности. Заключение: Установлено, что текущий формат формы № 3-ДОЗ не позволяет точно определить причины отклонений из-за отсутствия данных на уровне отдельных аппаратов.

Ключевые слова: *медицинское облучение, средняя эффективная доза, форма № 3-ДОЗ, радиационная безопасность, Хабаровский край.*

Введение

Основным источником информации об уровнях облучения пациентов и структуре лучевой диагностики в Российской Федерации (РФ) является форма государственного статистического наблюдения №3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований» [1]. В 2022 году в форму №3-ДОЗ были внесены изменения, учитывающие изменения в структуре лучевой диагностики [2]. В 2024 году в первый раз все медицинские организации сдавали форму № 3-ДОЗ за 2023 год в новой редакции. Анализ данных по уровням медицинского облучения за 2023 г. показал, что дозы от медицинского диагностического облучения в РФ значительно выросли [3].

В ряде субъектов РФ значительно возросли как коллективная доза за счет медицинского облучения, так и средняя эффективная доза для отдельных рентгенорадиологических процедур. Этот рост был зафиксирован даже для рентгенографических процедур, которые проводятся по типовым методикам и для которых не менялись методика определения эффективных доз и формат записей в форму № 3-ДОЗ. Данный факт обуславливает необходимость верификации полученных данных.

В связи с отсутствием в форме № 3-ДОЗ сведений о средних эффективных дозах на уровне отдельного рентгеновского аппарата, минимальным уровнем для верификации является медицинская организация (МО). При этом верификация не позволяет установить причины аномально высоких доз, позволяя при этом выделить те МО, в которых целесообразно проводить детальные исследования уровня облучения пациентов и расследовать причины высокого уровня медицинского облучения.

Цель исследования – разработка методики верификации данных по уровням медицинского облучения, представленным в форме № 3-ДОЗ на региональном уровне.

Задачи исследования

1. Определить средние эффективные дозы для выбранных рентгеновских процедур.
2. Выявить аномально высокие и низкие значения средних эффективных доз.
3. Разработать методику верификации данных с целью внедрения ее в программное обеспечение для заполнения формы № 3-ДОЗ.

Материалы и методы

В работе использовались данные из форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследо-

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

ваний» на уровне субъектов РФ, полученные из Федерального банка данных по индивидуальным дозам облучения граждан при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур за 2022 и 2023 год.

Для выбора пилотного региона для разработки методики верификации был проведен анализ средних эффективных доз на душу населения от медицинского диагностического облучения в субъектах РФ (рис. 1). Из пяти регионов с максимальными средними эффективными дозами на душу населения был выбран Хабаровский край. Этот субъект РФ характеризуется наибольшим количеством зафиксированных аномальных эффективных доз по видам исследований [3], а также имеет максимальные годовые эффективные дозы медицинского облучения в среднем на одного жителя в 2023 году. В Хабаровском крае этот показатель составляет 1,63 мЗв [3].

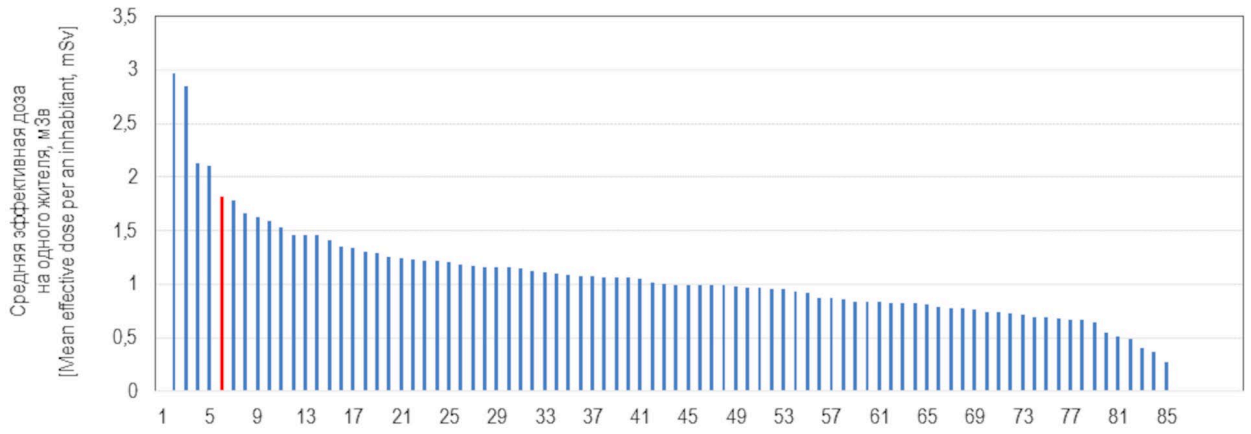


Рис. 1. Средние эффективные дозы от медицинского облучения на одного жителя Российской Федерации за 2023 год. Хабаровский край выделен на рисунке красным цветом (входит в топ-10 регионов). Из выборки данных исключено одно значение в 7,63 мЗв (Еврейская автономная область)

[**Fig. 1.** Average effective doses from medical exposure per capita in the Russian Federation for 2023. Khabarovsk Krai is highlighted in red in the figure (in top ten regions with maximum doses). One value of 7.63 mSv (Jewish Autonomous Region) was excluded from the data sample]

В качестве основных проанализированных показателей выбрали коллективную дозу от медицинского облучения (чел. -Зв), число диагностических рентгенорадиологических исследований и среднюю эффективную дозу (СЭД) за процедуру лучевой диагностики (мЗв). Расчет СЭД за процедуру проводили с использованием выражения (1):

$$СЭД = \frac{КД}{n} \cdot 1000, мЗв\ , \qquad (1)$$

где КД – коллективная доза от выбранного метода лучевой диагностики или от выбранной рентгенорадиологической процедуры, чел. -Зв;

n – число рентгенорадиологических процедур для выбранного метода лучевой диагностики или выбранной рентгенорадиологической процедуры, шт.

Для анализа актуализированной формы № 3-ДОЗ за 2023 г. использовали данные из таблиц 2100 и 2200 для коллективной дозы и числа рентгеновских процедур для взрослых пациентов соответственно; 2300 и 2400 – для коллективной дозы и числа рентгеновских процедур для детских пациентов соответственно; таблиц 3100 и 3200 – для радионуклидных диагностических исследований для взрослых и детских пациентов соответственно.

Дополнительно провели сравнение средних эффективных доз с данными представленными на сайте ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева с использованием выражения:

$$\frac{(СЭД - СЭД_{НИИРГ})}{(СЭД_{НИИРГ})} \cdot 100, \%\ , \qquad (2)$$

где СЭД – средняя эффективная доза за процедуру лучевой диагностики, мЗв; СЭД НИИРГ – средняя эффективная доза из таблицы эффективных доз, представленных на сайте ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, мЗв[1].

Для сравнения со средними эффективными дозами, полученными по формуле (2), использовали собственные данные лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева [4], методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20[2] и сведения из международных отчетов НКДАР ООН [5, 6]

[1] ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева. Рекомендованные для использования средние значения индивидуальных эффективных доз пациентов для различных рентгенодиагностических процедур при заполнении раздела расчетных доз в Форме 3-Доз за 2021 год. URL: http://www.niirg.ru/PDF/2022/Tabl_avg_dose2021.pdf (Дата обращения: 10.04.2025) [FBUN NIIRG named after P.V. Ramzaev Recommended for use average values of individual effective doses of patients for various radiologic diagnostic procedures when filling in the section of calculated doses in Form 3-Dose for 2021. Available from: http://www.niirg.ru/PDF/2022/Tabl_avg_dose2021.pdf (Accessed 10.04.2025). (In Russ.)]

[2] Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21 сентября 2020 г.) [Methodological Recommendations MR 2.6.1.0215-20 “Assessment of radiation risk in patients during radiological examinations” (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 21 September 2020) (In Russ.)]

Так как по результатам расчета средней эффективной дозы в форме № 3-ДОЗ по формуле (1) полученная доза является дозой за процедуру (усредняется доза за прямые, боковые и косые проекции), для достоверного сравнения данные из литературных источников были пересчитаны с использованием выражения:

$$\frac{\text{Прямая проекция} + 0{,}5\ \text{Боковая проекция}}{2},$$

где Прямая проекция – доза за снимок в прямой проекции;
Боковая проекция – доза за снимок в боковой проекции.

Обработка и анализ данных осуществлялись с использованием программного обеспечения SPSS Statistics и Microsoft Excel.

Результаты

В соответствии с данными, представленными в предыдущей работе авторов [3], аномально высокие СЭД были зарегистрированы при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований.

На рисунках 2 и 3 представлены распределения СЭД за процедуру цифровой рентгенографии органов грудной клетки (рис. 2) и процедуру цифровой рентгенографии поясничного отдела позвоночника (рис. 3) по регионам РФ.

На рисунках 4–7 представлены значения средних эффективных доз за одну процедуру рентгенографии органов грудной клетки (рис. 4 и 5) и поясничного отдела позвоночника (рис. 6 и 7) в МО Хабаровского края в 2023 и 2022 гг. по данным формы № 3-ДОЗ соответственно. Оценка роста СЭД в процентах по каждой медицинской организации представлена на рисунке 8.

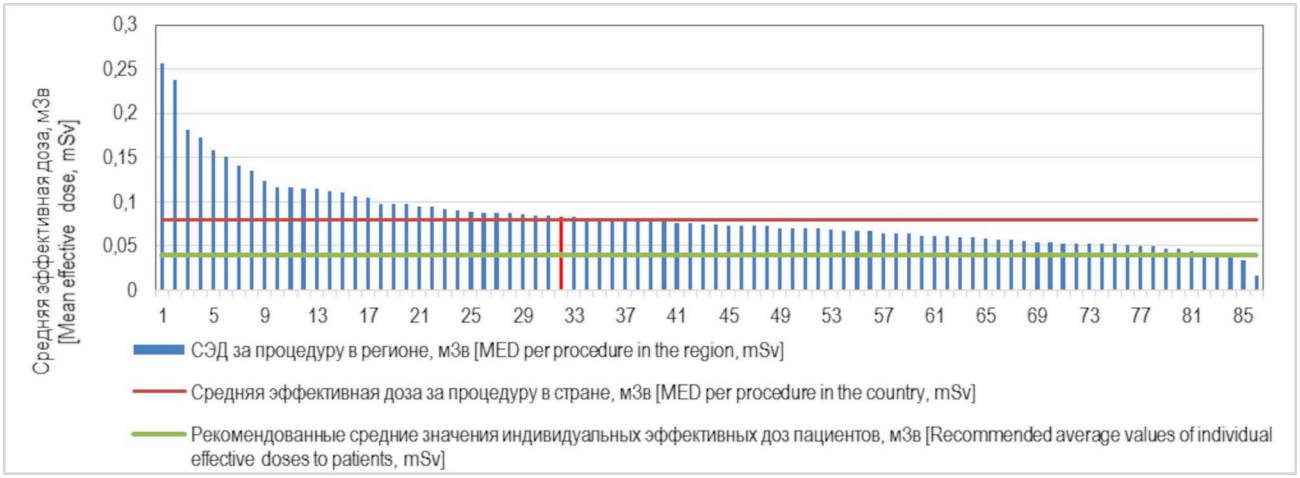


Рис. 2. СЭД для рентгенографии органов грудной клетки (ОГК), выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, полученные по результатам измерений для взрослых пациентов в 2023г, мЗв. Хабаровский край выделен на рисунке красным цветом

[**Fig. 2.** Average effective doses for chest radiography performed on digital X-ray machines for adult patients obtained according to the results of measurements in 2023, mSv. Khabarovsk Krai is highlighted in red in the figure]

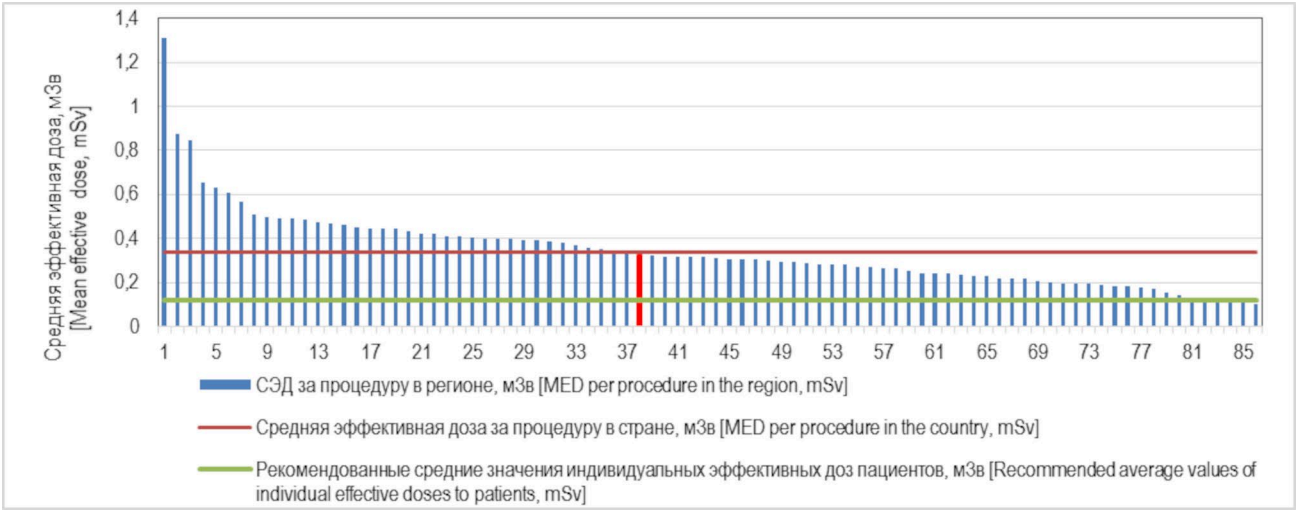


Рис. 3. СЭД для рентгенографии поясничного отдела позвоночника, выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, полученные по результатам измерений для взрослых пациентов в 2023 г., мЗв. Хабаровский край выделен на рисунке красным цветом. Из выборки данных по цифровым рентгенограммам поясничного отдела позвоночника для взрослых пациентов исключено одно значение в 1,31 мЗв (Республика Калмыкия)

[**Fig. 3.** Average effective doses for lumbar spine radiography performed on digital X-ray machines for adult patients obtained according to the results of measurements in 2023, mSv. Khabarovsk Krai is highlighted in red in the figure. One value of 1.31 mSv (Republic of Kalmykia) was excluded from the sample of data on digital lumbar spine radiographs for adult patients]

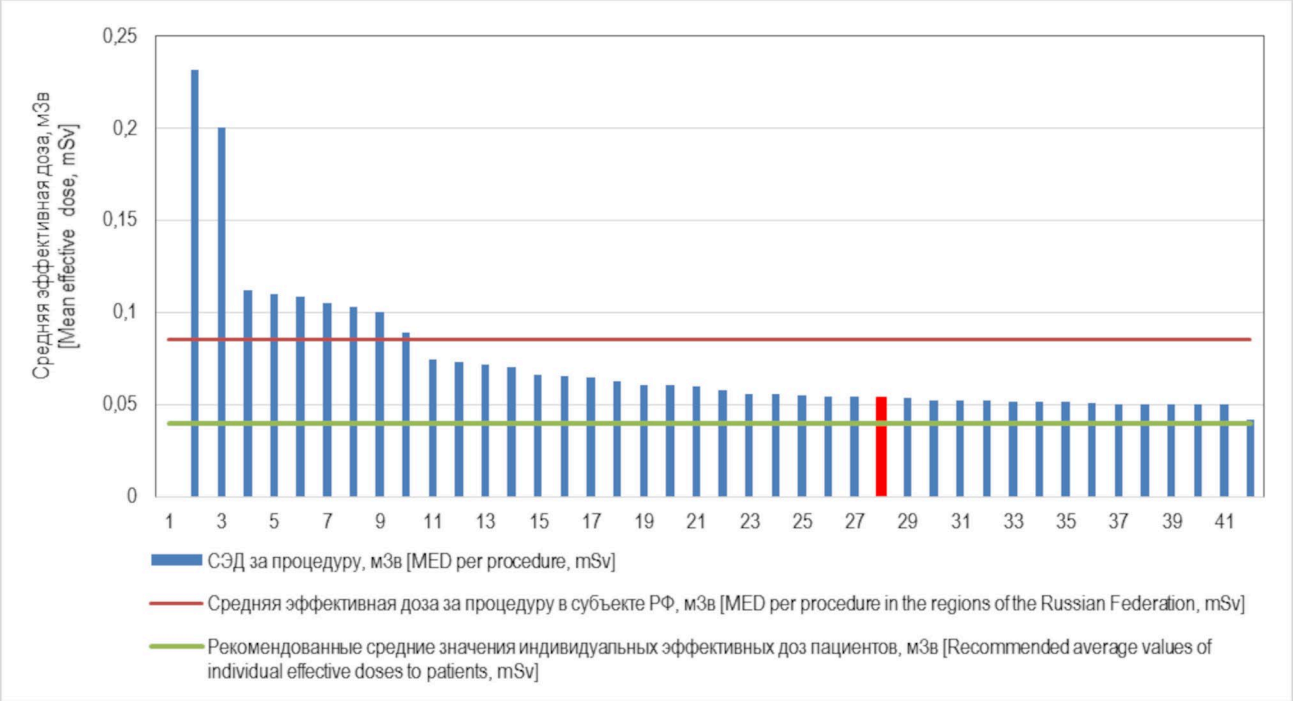


Рис. 4. СЭД для рентгенографии органов грудной клетки, выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, для взрослых пациентов в медицинских организациях Хабаровского края в 2023г, мЗв. Из выборки данных по цифровым рентгенограммам органов грудной клетки для взрослых пациентов исключено одно значение в 0,6 мЗв (ФГБУ ФЦССХ Минздрава России (г. Хабаровск)). На рисунке красным цветом отмечена единственная организация, подавшая в форму №3-ДОЗ данные за исследования, полученные расчетным методом

[**Fig. 4**. Average effective doses for chest radiography performed on digital X-ray machines for adult patients in medical organizations of Khabarovsk Krai in 2023, mSv. One value of 0.6 mSv was excluded from the sample of data on digital chest radiography for adult patients (FGBU FTSSSRC of the Ministry of Health of Russia (Khabarovsk)). In the figure, the only organization that submitted data for trials obtained by the calculation method to Form No. 3-DOZ is marked in red]

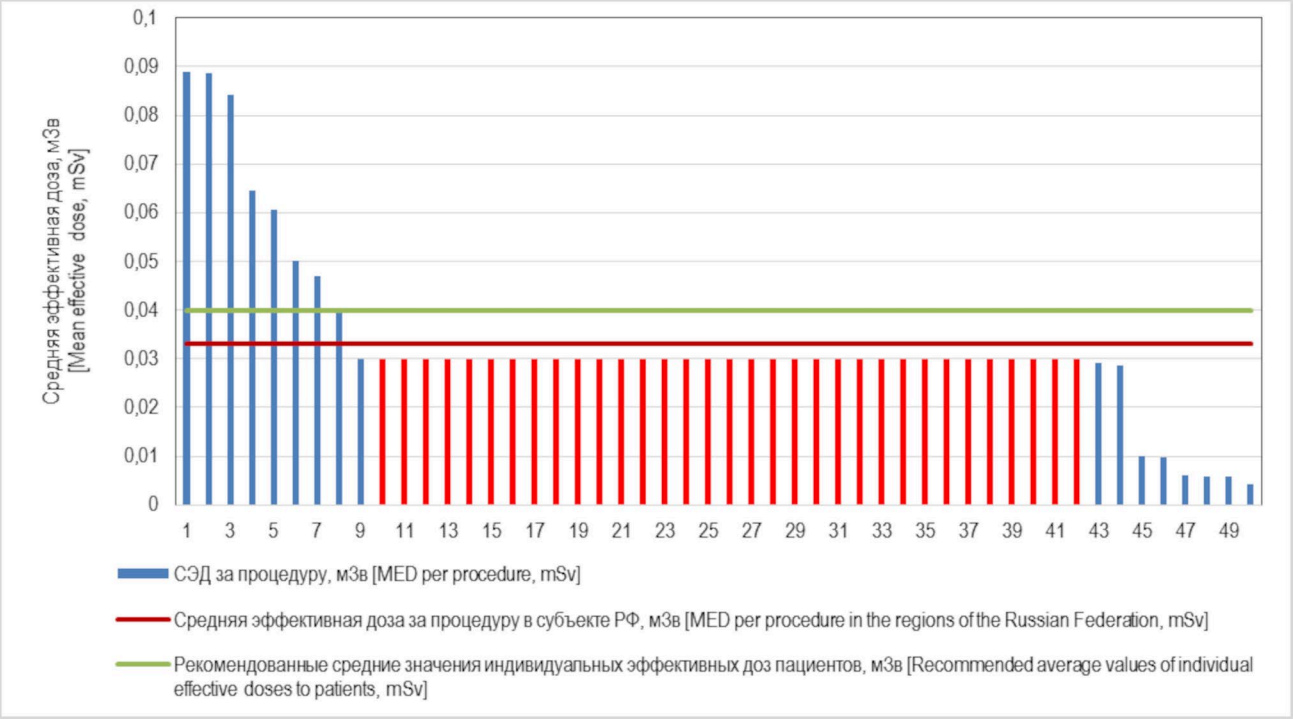


Рис. 5. Значения СЭД для рентгенографии органов грудной клетки, выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, для взрослых пациентов в МО Хабаровского края в 2022 г., мЗв. Представлены данные, полученные расчетным (красный цвет) и измеренным методами

[**Fig. 5.** Average effective doses for chest radiography performed on digital X-ray machines for adult patients in medical organizations of Khabarovsk Krai in 2022, mSv. The data obtained by the calculated (red color) and measured methods are presented]

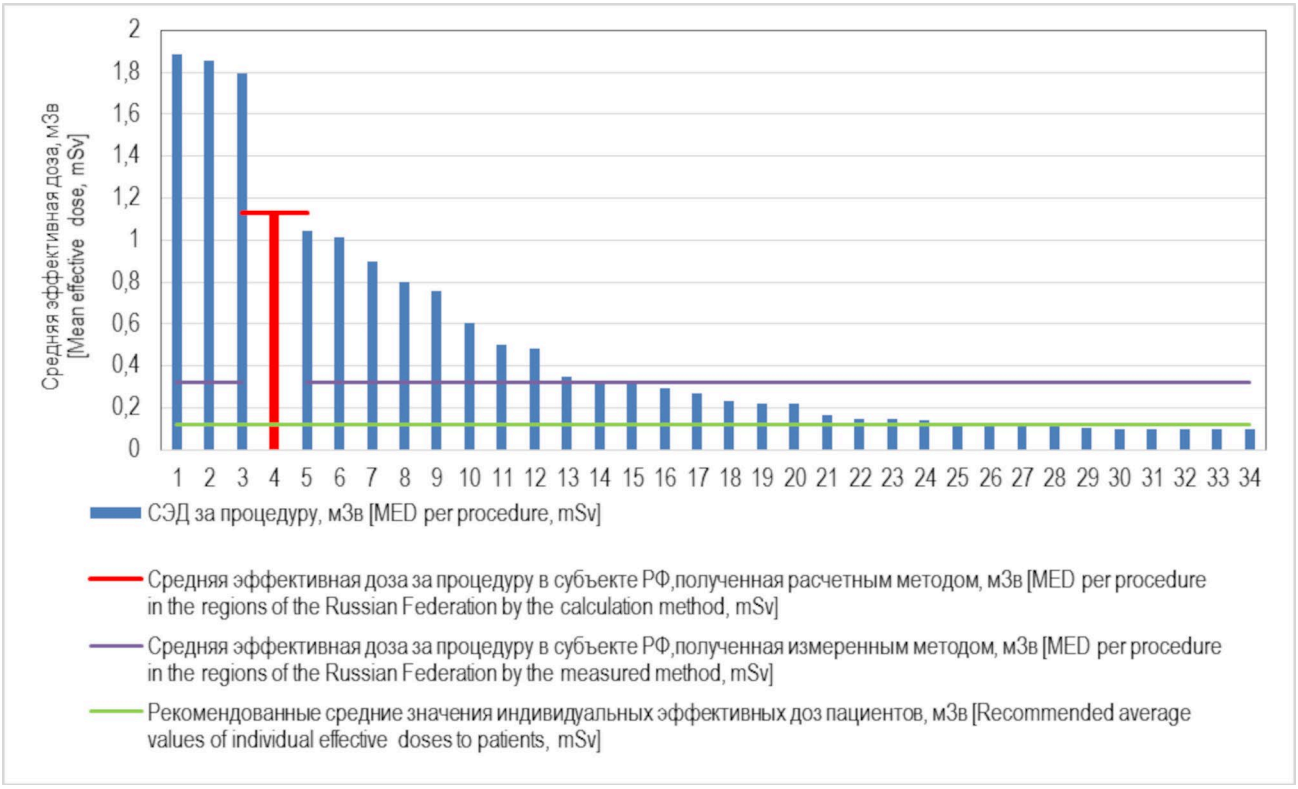


Рис. 6. Значения СЭД для рентгенографии поясничного отдела позвоночника, выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, для взрослых пациентов в МО Хабаровского края в 2023 г., мЗв. На рисунке красным цветом отмечена организация, подавшая в форму №3-ДОЗ данные за исследования, полученные расчетным методом

[**Fig. 6.** Average effective doses for lumbar spine radiography performed on digital X-ray machines for adult patients in medical organizations of Khabarovsk Krai in 2023, mSv. In the figure, the organization that submitted the data for the studies obtained by the calculation method to Form No. 3-DOZ is marked in red]

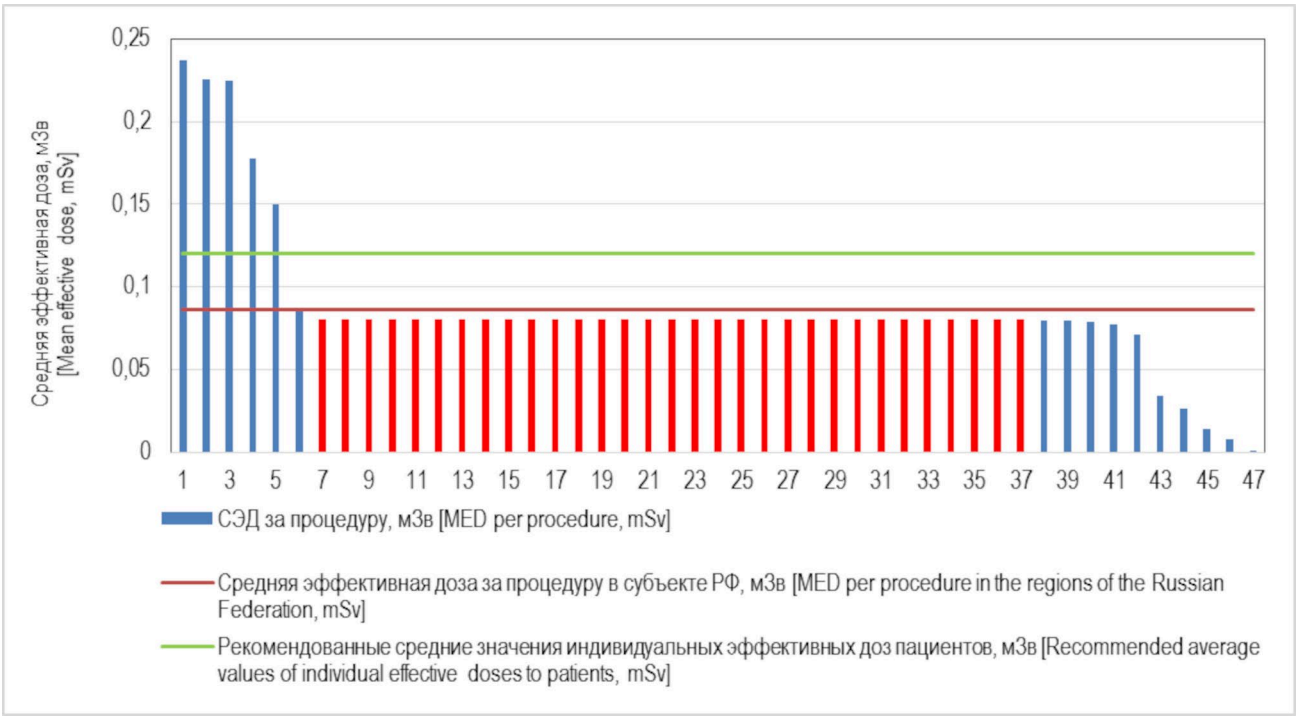


Рис. 7. Значения СЭД для рентгенографии поясничного отдела позвоночника, выполненной на цифровых рентгеновских аппаратах, для взрослых пациентов в МО Хабаровского края в 2022 г., мЗв. Представлены данные, полученные расчетным (красный цвет) и измеренным методами

[**Fig. 7.** Average effective doses for lumbar spine radiography performed on digital X-ray devices for adult patients in medical organizations of Khabarovsk Krai in 2022, mSv. The data obtained by the calculated (red color) and measured methods are presented]

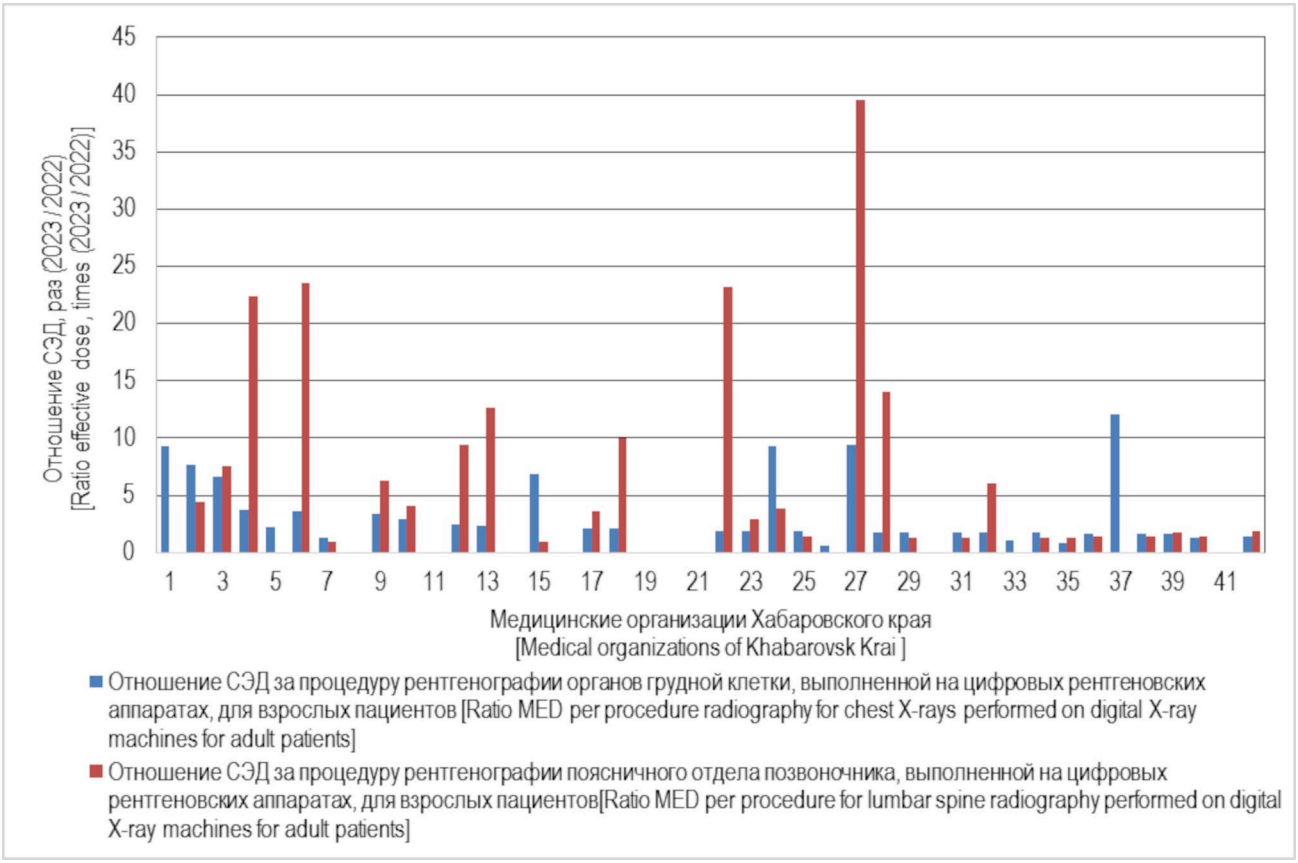


Рис. 8. Отношение СЭД для рентгенографии органов грудной клетки и рентгенографии поясничного отдела позвоночника, выполненных на цифровых рентгеновских аппаратах, для взрослых пациентов в медицинских организациях Хабаровского края (2023/2022). Номера медицинских организаций соответствуют номерам с рис. 4. Отсутствие данных обусловлено невыполнением данного исследования в медицинской организации в целом или невыполнением исследования в 2022 году. Из выборки данных по цифровым рентгенограммам поясничного отдела позвоночника для взрослых пациентов исключены значения в 112,8 раз (КГБУЗ ККЦО – номер 5) и значение в 233,2 раза (КГБУЗ «Клинический центр восстановительной медицины и реабилитации»- номер 37)

[**Fig. 8.** Ratio of effective doses for chest X-rays and lumbar spine X-rays performed on digital X-ray machines for adult patients in medical organizations in the Khabarovsk Krai (2023/2022). The numbers of medical organizations correspond to the numbers in Fig. 4. The absence of data is due to non-performance of procedures in 2022 or 2023. From the sample of data on digital X-rays of the lumbar spine for adult patients, values of 112.8 times (KGBUZ KKCO – number 5) and 233.2 times (KGBUZ "Clinical Center for Restorative Medicine and Rehabilitation" – number 37) were excluded]

Несмотря на то, что вклад в число процедур организаций с аномально высокими СЭД незначительный, они вносят высокий вклад в коллективную дозу, что, в свою очередь, обуславливает высокое значение СЭД в субъекте РФ в целом (табл. 1).

Обсуждение

На примере Хабаровского края показано, что появление в субъекте РФ нескольких МО с аномально высокими дозами на фоне большого количества больниц с аномально низкими дозами приводит к резкому росту как СЭД за исследование в регионе, так и росту коллективной дозы от медицинского облучения.

В 2023 году в Хабаровском крае значительно возросла СЭД при проведении цифровой рентгенографии взрослых пациентов. Для органов грудной клетки она увеличилась на 200 % (с 0,03 мЗв до 0,09 мЗв), а для поясничного отдела позвоночника — на 295 % (с 0,086 мЗв до 0,34 мЗв). При этом анализ реестра действующих санитарно-эпидемиологических заключений не показал изменений в аппаратном парке для цифровой рентгенографии в медицинских организациях Хабаровского края.

В 27 % медицинских учреждений региона были предоставленные данные о дозах облучения оказались ниже показателей, указанных на сайте НИИРГ, что вызывает сомнения в достоверности этих данных.

Из данных, представленных в таблице 1, следует, что первые две МО при совокупном вкладе в 7 % в число рентгенографий ОГК вносят 26 % в коллективную дозу за счет рентгенографии ОГК; для рентгенографии ПОП вклад составляет 8 % и 40 % соответственно.

Для определения достоверности полученных данных было проведено сравнение самых высоких показателей СЭД в МО Хабаровского края с данными из отечественных и международных источников (табл. 2).

Таблица 1

Медицинские организации, вносящие максимальный вклад в формирование коллективной дозы и сила исследований цифровой рентгенографии органов грудной клетки и поясничного отдела позвоночника в регионе

[Table 1

Medical facilities with maximum contribution to the collective dose and number of digital radiographies of the chest and lumbar spine in the region]

Цифровая рентгенография органов грудной клетки [Digital radiography of the thoracic organs]					Цифровая рентгенография поясничного отдела позвоночника [Digital radiography of the lumbar spine]					
Медицинская организация [Medical organization]	Номер на рис.4 и 8 [Number in the fig. 4 and 8]	СЭД, мЗв [MED, mSv]	Вклад в коллективную дозу региона за данное исследование, % [Contribution to the collective dose in the region for this examination, %]	Вклад в общее число процедур в регионе за данное исследование, % [Contribution to the total number of procedures in the region for this examination, %]	Медицинская организация [Medical organization]	Номер на рисунке 6 [Number in the figure 6]	Номер на рисунке 8 [Number in the figure 8]	СЭД, мЗв [MED, mSv]	Вклад в коллективную дозу региона за данное исследование, % [Contribution to the collective dose in the region for this examination, %]	Вклад в общее число процедур в регионе за данное исследование, % [Contribution to the total number of procedures in the region for this examination, %]
КГБУЗ «Городская поликлиника №15» МЗХК [KGBUZ 'City Polyclinic No. 15' of the MHSK]	2	0,23	15,65	5,60	КГБУЗ «ТКДЦ» [KGBUZ "TKDC"]	1	6	1,89	30,70	5,25
ФГБУ ФЦССХ Минздрава России (г. Хабаровск) [FGBU FTSSSH of the Ministry of Health of Russia (Khabarovsk)]	1	0,60	11,04	1,53	КГБУЗ ККБ им. профессора С. И. Сергеева [KKBUZ KKB named after Professor S. I. Sergeev]	6	13	1,01	9,17	2,92
КГБУЗ "Ванинская центральная районная больница" [KGBUZ "Vaninskaya Central District Hospital".]	3	0,20	7,38	3,06	КГБУЗ КДЦ «Ви-вея» [KGBUZ KDC "Vivea"]	25	24	0,13	8,18	20,21
КГБУЗ «ТКДЦ» [KGBUZ "TCDC"]	6	0,19	5,50	4,20	КГБУЗ ГП 16 [KGBUZ GP 16]	12	32	0,48	7,54	5,01

Окончание таблицы 1

Цифровая рентгенография органов грудной клетки [Digital radiography of the thoracic organs]					Цифровая рентгенография поясничного отдела позвоночника [Digital radiography of the lumbar spine]					
Медицинская организация [Medical organization]	Номер на рис.4 и 8 [Number in the fig. 4 and 8]	СЭД, мЗв [MED, mSv]	Вклад в коллективную дозу региона за данное исследование, % [Contribution to the collective dose in the region for this examination, %]	Вклад в общее число процедур в регионе за данное исследование, % [Contribution to the total number of procedures in the region for this examination, %]	Медицинская организация [Medical organization]	Номер на рисунке 6 [Number in the figure 6]	Номер на рисунке 8 [Number in the figure 8]	СЭД, мЗв [MED, mSv]	Вклад в коллективную дозу региона за данное исследование, % [Contribution to the collective dose in the region for this examination, %]	Вклад в общее число процедур в регионе за данное исследование, % [Contribution to the total number of procedures in the region for this examination, %]
КГБУЗ «Городская клиническая поликлиника №3» [KGBUZ ‘City Clinical Polyclinic No.3’]	33	0,05	4,92	7,96	КГБУЗ «Городская больница №7» [KGBUZ ‘City Hospital No. 7’]	14	10	0,33	6,07	5,98
КГБУЗ Городская поликлиника №11 [KGBUZ Municipal Polyclinic No. 11]	38	0,05	4,62	7,65	ООО Наша клиника-Медицина [ООО Nasha Klinika-Medicine]	11	9	0,50	4,54	2,93
КГБУЗ «Городская больница имени М.И. Шевчук» АРБ МЗХК [KGBUZ ‘M.I. Shevchuk City Hospital’ MHSK ARB]	37	0,05	4,24	7,02	КГБУЗ «Городская поликлиника No. 15» МЗХК [KGBUZ “City Polyclinic No. 15" MHCC]	13	2	0,35	3,90	3,59
КГБУЗ КДЦ «Вивея» [KGBUZ KDC “Vivea”]	24	0,05	3,70	5,53	КГБУЗ «КДЦ» г.Хабаровск МЗ ХК [KGBUZ “KDC" Khabarovsk MH HK]	17	11	0,27	3,25	3,90

Таблица 2

Сравнение показателей СЭД, мЗв в медицинских организациях Хабаровского края с данными из отечественных и международных источников

[Table 2

Comparison of EDR indicators, mSv in medical organizations of Khabarovsk Krai with data from domestic and international sources]

Источник данных [Data source]	Цифровая рентгенография органов грудной клетки [Digital radiography of thoracic organs]									Цифровая рентгенография поясничного отдела позвоночника [Digital radiography of the lumbar spine]								
	Медицинская организация 1 [Medical organization 1]			Медицинская организация 2 [Medical organization 2]			Медицинская организация 3 [Medical organization 3]			Медицинская организация 1 [Medical organization 1]			Медицинская организация 2 [Medical organization 2]			Медицинская организация 3 [Medical organization 3]		
Проекция [Projection]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]	ЗП [AP]	Б [L]	Усредненное по проекциям [Averaged over projections]
Анализ формы № 3–ДОЗ за 2022 год [Analysis of Form No. 3–DOZ for 2022]			0,06 (расчет)			0,03 (расчет)			0,03 (расчет)			0,08 (расчет)			0,08 (расчет)			0,08 (расчет)
Анализ формы № 3–ДОЗ за 2023 год [Analysis of Form No. 3–DOZ for 2023]	–	–	0,6 (измер)	–	–	0,23 (измер)	–	–	0,2 (измер)	–	–	1,89 (измер)	–	–	1,86 (измер)	–	–	1,79 (измер)
Сайт НИИРГ им. П.В Рамзаева [Website of NIIRG named after P.V. Ramzaev]	–	–	0,04	–	–	0,04	–	–	0,04	–	–	0,12	–	–	0,12	–	–	0,12
Балонов, М.И. Научные основы радиационной защиты в современной медицине, Том 1 [4] [Balonov, M.I. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine. Volume 1.] [4]	0,1	0,19	0,29	0,1	0,19	0,29	0,1	0,19	0,29	0,66	0,72	1,38	0,66	0,72	1,38	0,66	0,72	1,38
НКДАР ООН, 2008 г [5] [UNSCEAR, 2008] [5]	0,02	0,1	0,29	0,02	0,1	0,29	0,02	0,1	0,29	1,1	0,7	0,72	1,1	0,7	0,72	1,1	0,7	0,72
НКДАР ООН, 2022 г [6] [UNSCEAR, 2022] [6]	–	–	0,08	–	–	0,08	–	–	0,08	–	–	1,0	–	–	1,0	–	–	1,0

В 2023 году средняя эффективная доза, полученная пациентами в МО, указанных в таблице 2, выросла более чем в пять раз по сравнению с 2022 годом.

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает хорошую сходимость доз, полученных за исследование, с данными из отечественной и зарубежной литературы. Сравнение с данными МО с результатами собственных исследований ФБУН НИИРГ показывает, что данные МО с аномально высокой средней эффективной дозой за исследование не могут считаться завышенными. Напротив, данные с сайта НИИРГ и данные других медицинских организаций могут быть слишком заниженными.

На основании полученных данных нельзя точно утверждать причины аномально высоких или аномально низких доз. Целесообразно провести собственный сбор данных в МО Хабаровского края для понимания сложившейся ситуации.

Основываясь на полученные результаты при анализе всероссийской формы № 3-ДОЗ целесообразно предложить методики верификации данных по уровням медицинского облучения за исследования, которые являются причиной роста коллективной дозы по стране. Схема проведения верификации представлена на рисунке 9.

Для выявления регионов с аномально высокими значениями СЭД облучения пациентов необходимо рассчитать СЭД для выбранного вида лучевой диагностики. Средние значения определить по формуле (1) как для всей РФ, так и для каждого субъекта на основе данных государственной статистической отчетности - формы № 3-ДОЗ.

На следующем этапе провести анализ распределения субъектов РФ по значениям СЭД. Региональные значения сортируются в порядке убывания, после чего определяются субъекты, где СЭД превышает или ниже федерального значения более чем в два раза.

В субъектах с выявленными аномальными значениями провести детализированный анализ на уровне МО. Для каждой медицинской организации, выполнявшей процедуры в отчетном периоде (году), рассчитываются средние эффективные дозы. Затем строится распределение организаций по значениям СЭД, выявляются те МО, где дозы отклоняются от федерального значения более чем в два раза.

Для МО, в которых наблюдаются аномально высокие или низкие значения, необходимо провести анализ и определить причины изменения этих значений. Это необходимо для определения достоверности наблюдаемых аномально высоких и/или низких доз.

В том случае, если аномально высокие и/или низкие дозы обусловлены процедурными ошибками при заполнении объектовой формы №3-ДОЗ или при переносе данных из объектовых в субъектовую форму №3-ДОЗ, информацию в соответствующих формах №3-ДОЗ, возможно, следует оперативно скорректировать на уровне субъекта РФ. При подтверждении отсутствия процедурных ошибок целесообразно проводить контроль документации в МО с аномальными дозами.

Учитывая усредненный характер статистической информации, полученные данные необходимо использовать исключительно для мониторинга и выявления отклонений, но не для установления референтных диагностических уровней или оптимизационных мероприятий.

Эта методика не может служить надежным инструментом для оценки уровня облучения пациентов, поскольку информация в форму № 3-ДОЗ подается в обобщенном виде по всей МО без детализации отдельных аппаратов для рентгенодиагностических исследований. Однако, будучи интегрированной в программное обеспечение для регионального банка данных, она предоставляет территориальным органам Роспотребнадзора возможность оперативно выявлять медицинские учреждения, которые могут быть наиболее перспективными для проведения оптимизационных мероприятий.

Самым объективным способом оценки уровня облучения пациентов является сбор данных сотрудниками ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева или местными территориальными органами Роспотребнадзора. Однако, учитывая ограниченные ресурсы, сперва необходимо определить список организаций, куда целесообразнее обратиться для проведения такой проверки. Данная методика поможет выявить критические точки для оптимизации системы радиационной безопасности при медицинском облучении.

Заключение

Выборочный анализ данных на примере Хабаровского края (региона с большим количеством выявленных аномалий) показал, что рост средней эффективной дозы в медицинских организациях, вносящих значительный вклад в коллективную дозу региона, влияет на рост коллективной дозы как в регионе, так и в стране в целом.

Тем не менее аномально высокие дозы хорошо сопоставимы со средними/медианными дозами, определенными специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в рамках собственных исследований уровня облучения населения РФ.

Представленный в данной работе алгоритм целесообразно использовать при анализе данных из региональных и федеральных банков данных по форме 3-ДОЗ.

Полноценное определение причин аномально высоких доз пациентов невозможно на текущий момент из-за отсутствия сведений об уровнях облучения на уровне отдельного рентгеновского аппарата / компьютерного томографа в форме 3-ДОЗ.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Водоватов А.В. разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, подготовил окончательный вариант рукописи.

Косарлукова Е.А. провела анализ данных о дозах облучения, подготовила иллюстрации, редактировала промежуточный вариант рукописи.

Библин А.М. редактировал промежуточный вариант рукописи.

Ахматдинов Р.Р. редактировал промежуточный вариант рукописи, подготовил данные для анализа.

Вишнякова Н.М. редактировала промежуточный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

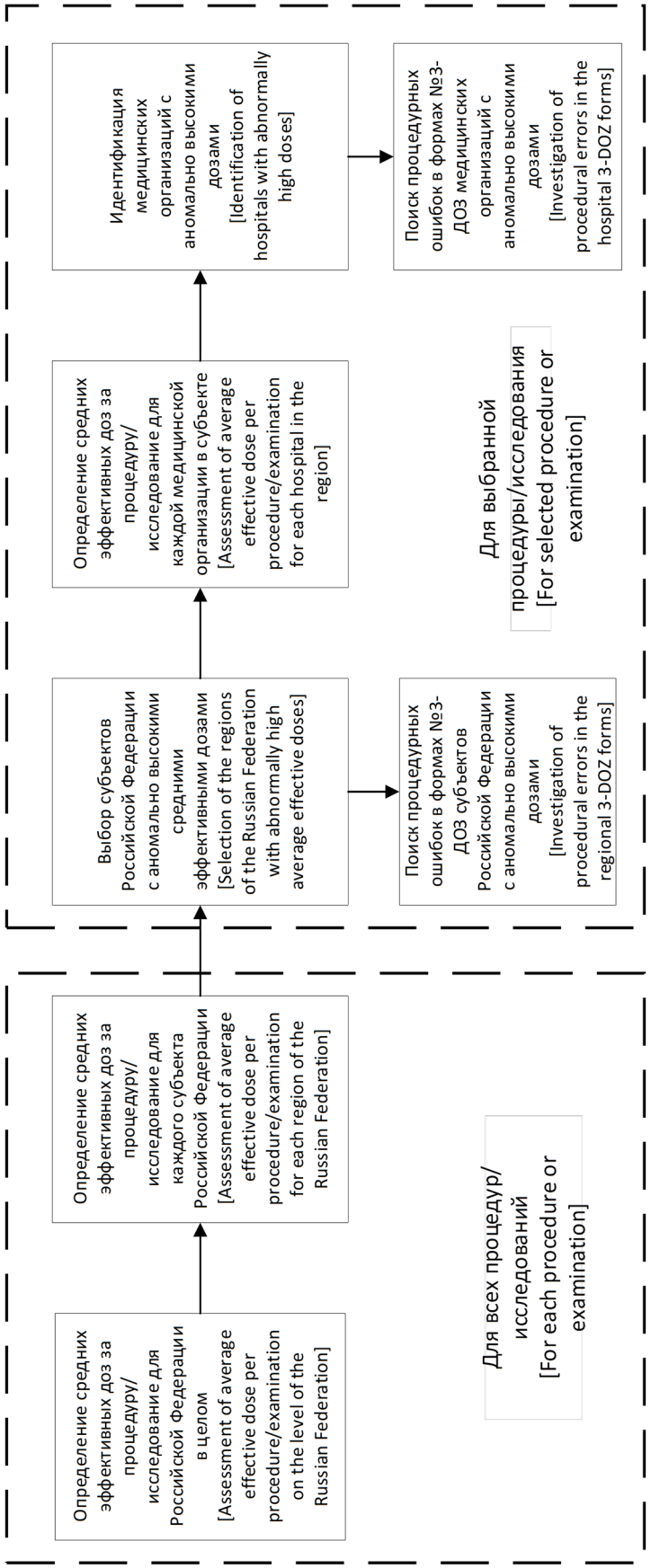


Рис. 9. Методика верификации
[Fig. 9. Verification methodology]

Литература

1. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. и др. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения РФ. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения РФ // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 3. С. 18-35. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-18-35.
2. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Братилова А.А. и др. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований». Предпосылки к переработке // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 126-136. DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-2-126-136.
3. Водоватов А.В., Косарлукова Е.А., Библин А.М. и др. Анализ уровней медицинского облучения населения РФ в 2023 г. с использованием актуализированной формы № 3–ДОЗ // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 85-99. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-85-99.
4. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В. и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Т. 1. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, 2019.
5. UNSCEAR 2008: Report to the General Assembly /United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, 2010. Vol. 1: Sources and effects of ionizing radiation. 220 p.
6. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly. Scientific Annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. United Nations, New York, May 2022. 344 p.

Поступила: 10.05.2025

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
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Косарлукова Елена Алексеевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0007-6476-9571

Библин Артем Михайлович – старший научный сотрудник руководитель Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-3139-2479

Ахматдинов Руслан Расимович – инженер-исследователь Информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0009-0000-2300-6788

Вишнякова Надежда Михайловна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; профессор кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Водоватов А.В., Косарлукова Е.А., Библин А.М., Ахматдинов Р.Р., Вишнякова Н.М. Проблемы верификации сведений о дозах медицинского облучения в формах № 3-ДОЗ и предложения по их решению // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 62–74. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-62-74

Problems of verification of information on medical exposure doses in Form No. 3-DOZ and suggestion for their solution

Aleksandr V. Vodovatov[1,2], Elena A. Kosarlukova[1], Artem M. Biblin[1], Ruslan R. Akhmatdinov[1], Nadezhda M. Vishnyakova[1,3]

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

[2] Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

[3] I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint Petersburg, Russia

Aleksandr V. Vodovatov
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E–mail: vodovatoff@gmail.com

The article analyzes the data of the federal state statistical observation form No. 3-DOZ for 2022-2023, which revealed a significant increase in medical radiation doses to patients in the Russian Federation, especially in Khabarovsk Krai. The purpose of the examination was to develop a methodology for verification of these data at the regional level. Materials and Methods: The methods of calculation of the average effective dose and comparison with reference values of the Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev were used. Results and Discussion: The results showed that abnormally high average effective doses were recorded in medical organizations of Khabarovsk Krai, significantly affecting the collective dose of the region. An algorithm for detecting such anomalies to optimize radiation safety was proposed. Conclusion: It was found that the current format of Form No. 3-DOZ does not allow to accurately determine the causes of deviations due to the lack of data at the level of individual devices.

Key words: *medical exposure, average effective dose, Form No. 3-DOZ, radiation protection, Khabarovsk Krai.*

Authors' personal contribution

Aleksandr V. Vodovatov developed design of the study, determined aims and objectives, prepared final version of the manuscript.

Elena A. Kosarlukova analyzed data on radiation doses, prepared illustrations, prepared draft of the manuscript, prepared data for analysis

Artem M. Biblin prepared draft of the manuscript.

Ruslan R. Akhmatdinov prepared draft of the manuscript, prepared data for analysis.

Nadezhda M. Vishnyakova prepared draft of the manuscript.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

The study was not supported by sponsorship.

References

1. Onishchenko GG, Popova AYu, Romanovich IK, Barkovsky AN, Kormanovskaya TA, Shevkun IG. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 1. Main achievements and challenges to improve. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene.* 2017;10(3): 18–35. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-18-35.
2. Vodovatov AV, Chipiga LA, Bratilova AA, Druzhinina PS, Shatskiy IG, Petryakova AV, et al. Update of the federal governmental statistical surveillance form № 3-DOZ "Data on patient doses from medical X-ray examinations". Perquisites for the update. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 126-136. DOI: 10.21514/1998-426x-2023-16-2-126-136.
3. Vodovatov AV, Kosarlukova EA, Biblin AM, Akhmatdinov RR, Bratilova AA. Analysis of medical exposure levels of the Russian Federation population in 2023 using the updated form No. 3 -DOZ. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(1): 85–99. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-85-99.
4. Balonov MI, Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, et al. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine. Volume 1. Saint Petersburg: St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaeva; 2019. (In Russian).
5. UNSCEAR 2008: Report to the General Assembly /United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York; 2010. Vol. 1: Sources and effects of ionizing radiation. 220 p.
6. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly. Scientific Annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. 2022. 344 p.

Received: May 10, 2025

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia (8 Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Elena A. Kosarlukova – Acting Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0007-6476-9571

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

ORCID: 0000-0002-3139-2479

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

ORCID: 0009-0000-2300-6788

Nadezhda M. Vishnyakova – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights and Human Wellbeing; Professor of the Department of Hygiene of the Conditions of Education, Training, Labor and Radiation Hygiene of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

For citation: Vodovatov A.V., Kosarlukova E.A., Biblin A.M., Akhmatdinov R.R., Vishnyakova N.M. Problems of verification of information on medical exposure doses in Form No. 3-DOZ and suggestion for their solution. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 62–74. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-62-74

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-75-84
УДК: 614.876:574(470.111)

Оценка радиационного состояния территории и прибрежной акватории поселка Амдермы Ненецкого автономного округа

Шандала Н.К., Шитова А.А., Исаев Д.В., Бельских Ю.С., Титов А.В., Семенова М.П., Филонова А.А.

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

Настоящая публикация отражает продолжающийся цикл работ, посвященных изучению радиационно-гигиенической обстановки на территориях Арктической зоны Российской Федерации, с целью оценки первичных (фоновых) уровней содержания техногенных радионуклидов перед началом работ по подъему и утилизации затопленных и затонувших радиационных объектов с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами на основании Плана мероприятий по реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, утвержденной Постановлением Правительства № 645 от 26 октября 2020 года. Материалы и методы: Радиационное исследование проводилось в прибрежной зоне районов проживания населения, близлежащих к месту затопления атомной подводной лодки «К-27» и радиационных объектов в Карском море, – пос. Амдерма Ненецкого автономного округа, а также его естественной акватории. Проводились измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на открытой местности методом пешеходной гамма-съемки и определения содержания техногенных радионуклидов в пробах объектов окружающей среды (почва, донные отложения, водная растительность) и пищевых продуктов местного происхождения гамма-спектрометрическим и радиометрическим методами с предварительным отбором проб в установленном порядке согласно действующим нормативным документам и методическим указаниям. Результаты исследования и обсуждение: Результаты исследований показали, что состояние исследуемой территории стабильное по радиационному фактору; содержание радионуклидов находится на фоновом уровне, характерном для Ненецкого автономного округа, не превышая нормативов по радиационной безопасности. Проведена оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения поселка. Заключение: Показано, что доза облучения населения формируется преимущественно за счет природных источников излучения. В рамках выполнения данной работы разработан электронный модуль базы данных по полученным результатам радиационного мониторинга в пос. Амдерме, входящий в общую базу данных (свидетельство о регистрации № 2022621890).

Ключевые слова: *Арктическая зона, атомная подводная лодка, К-27, затопленные объекты, радиационный мониторинг, поселок Амдерма, техногенные радионуклиды, подъем затопленных объектов.*

Введение

Арктическая зона является перспективной территорией Российской Федерации с позиции обеспечения национальной безопасности, социально-экономического и научно-технологического развития. Реализация инновационных проектов в Арктике приобретает особую важность для формирования стратегических национальных приоритетов. Основной задачей является максимально эффективное использование природных ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни и благосостояния населения. Освоение новых месторождений суши и прибрежно-шельфовой зоны, увеличение уровня транзитного грузопотока по Северному морскому пути и объёмов перевалки грузов в портах Арктического бассейна определяют необходимость оценки потенциального экологического ущерба и определения значимости факторов возможного негативного воздействия на уникальные арктические экосистемы в настоящее время и в будущем.

Вследствие глобальных и локальных выпадений продуктов ядерных испытаний, проведенных в 1949–1990 гг. СССР, размещения значительного количества промышленных, оборонных объектов, захоронений твердых и жидких радиоактивных отходов (ТРО, ЖРО), а также затопления радиационно опасных объектов в акваториях Карского и Баренцева морей (рис. 1) экосистема Арктики в большей степени подвергается потенциальному риску радиоактивного загрязнения [1].

В настоящее время состояние этих объектов не представляет опасности для человека и биоты морской среды [2]. Но проведение работ по их подъему и транспортировке для утилизации потенциально могут привести к нарушению защитных оболочек и аварийному поступлению радионуклидов в морскую среду и загрязнению прибрежной арктической территории. Наибольшую опасность представляют затопленные объекты, которые содержат отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) с массой, превышающей критическую, что не исключает возможность возникновения самопроизвольной цепной реакции (СЦР). В частности, таким объектом является затопленная в 1981 г. в заливе Степового Карского моря у восточного побережья архипелага Новая Земля атомная подводная лодка (АПЛ) «К-27» (рис. 1). В реакторном отсеке АПЛ находятся два реактора с жидкометаллическим теплоносителем, содержащие ОЯТ, что создает риск возникновения СЦР в случае проникновения воды в активную зону [4].

Шитова Анастасия Александровна
Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна
Адрес для переписки: 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46; E-mail: shitovanastasia23@mail.ru

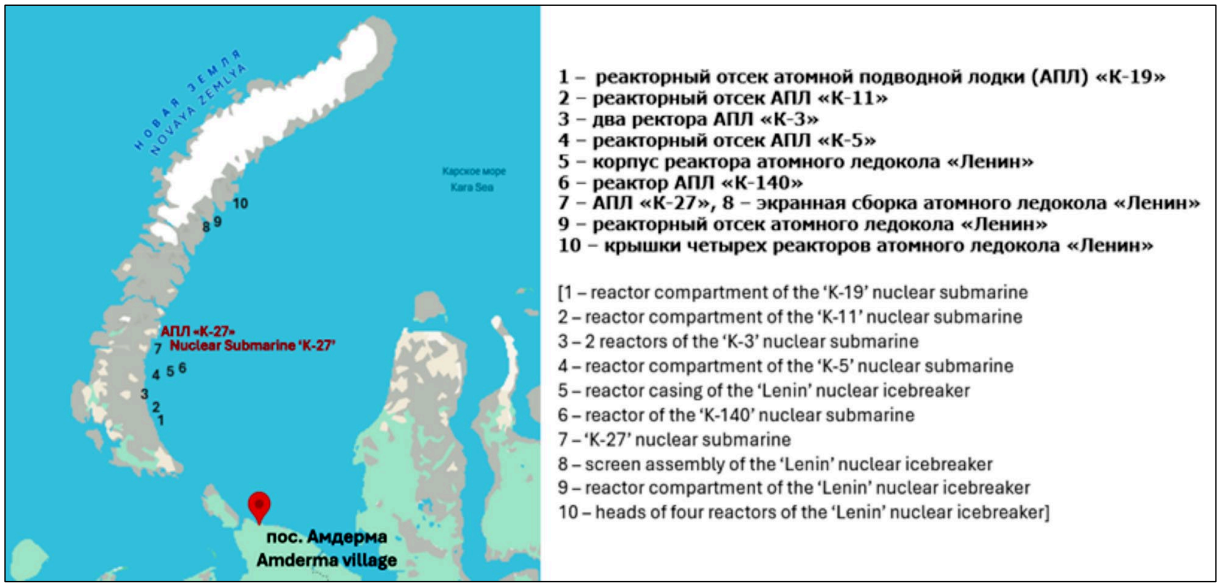


Рис. 1. Расположение затопленных ядерно и радиационно опасных объектов у восточного побережья Новой Земли [3]
[**Fig. 1.** Location of flooded nuclear and radiation hazardous facilities near the east coast of Novaya Zemlya [3]]

Комплексные исследования, включающие радиоэкологический мониторинг, в месте затопления АПЛ «К-27» силами МЧС России и организациями-участниками Российско-норвежской экспедиции, проведенные в 2006 и 2012 гг., позволили сделать вывод о неизменности радиационной обстановки с момента затопления этой АПЛ. Вертикальный профиль распределения ^{137}Cs в пробах грунта вблизи АПЛ и активность на поверхности оказались аналогичными содержанию этого радионуклида в открытой части Карского и других морей Арктической зоны, т.е. фоновым содержаниям. В морской воде активность ^{137}Cs и ^{90}Sr составляла 4,3 ± 1,0 Бк/м^3 и 2,2 ± 0,9 Бк/м^3 соответственно, что характерно для открытой части Карского моря [3].

Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2013 г. на основании акустических исследований были опубликованы предположения о разогреве внутренних полостей лодки вследствие наличия постоянного теплового потока с ее поверхности, исходящими из корпуса лодки, что, вероятно, может представлять опасность, включая риски при планируемом подъеме и транспортировке лодки с целью утилизации [5].

В 2020 и 2021 гг. в рамках государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды», утвержденной Постановлением Правительства № 326 от 15 апреля 2014 г., ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «Северное УГМС» провели две экспедиции по исследованию радиационной обстановки заливов Степового и Литке на архипелаге Новая Земля, района пос. Амдермы на побережье Карского моря (2020 г.) и в одном из районов Новоземельской впадины (2021 г.). Исследования показали отсутствие значительных загрязнений, однако работы по мониторингу радиационной обстановки в указанных районах целесообразно продолжать как для уточнения состояния затопленных радиоактивных отходов (РАО), так и с учётом планов по их подъему [6].

Большинство исследований в Арктике не касались проведения полноценных радиационных исследований сухопутной территории в районе возможного влияния выброса радионуклидов. Радиационный контроль в пос. Амдерме проводится силами ФГБУ «Северное УГМС» и включает измерения мощности дозы гамма-излучения (МЭД) и определение временных характеристик и дисперсного состава радиоактивных выпадений. Исследование других параметров и объектов радиационного мониторинга на данной территории не проводится [7].

По данным радиационно-гигиенической паспортизации Ненецкого автономного округа (2011–2022 гг.) МЭД на его территории регистрировалась в пределах 0,10 – 0,17 мкЗв/ч, что соответствует среднегодовым значениям естественного радиационного фона. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs находится на уровне значений глобальных выпадений и не превышает средних статистических показателей. За весь период наблюдения превышение гигиенических нормативов[1,2] по содержанию ^{90}Sr и ^{137}Cs в пищевых продуктах как местного происхождения, так и во ввозимых на территорию округа, не зарегистрировано. Среднее значение годовой эффективной дозы облучения населения за счет всех источников ионизирующего излучения составило в среднем 1,95 мЗв/год [8].

Основываясь на проанализированных литературных данных можно сделать вывод об отсутствии детальных исследований радиационных параметров на прибрежной территории Арктики, в том числе в пос. Амдерме.

Цель исследования – оценка радиационно-гигиенической обстановки в населенных пунктах, а также в прибрежной акватории Баренцева и Карского морей, находящихся в непосредственной близости к местам проведения планируемых работ по подъему и утилизации затопленных объектов. Результаты исследований, проведенных в 2020-2021 гг. в районе Баренцева моря (остров Кильдин и село Териберка Мурманской области), представлены в статье [9]. В настоящей публикации изложены результаты, полученные в 2022 году

[1] СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» [Sanitary Regulations and Standards 2.3.2.1078-01 'Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products' (In Russ.)]

[2] ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [Technical Regulations of the Customs Union 'On the Safety of Food Products' (In Russ.)]

в ходе исследования радиационно-гигиенической обстановки в пос. Амдерме Ненецкого автономного округа и на прилегающих к нему территориях.

Задачи исследования

1. Анализ имеющихся данных мониторинга радиационной обстановки.
2. Проведение полевых и лабораторных исследований по определению содержания техногенных радионуклидов в природных средах.
3. Оценка доз облучения населения пос. Амдермы.
4. Разработка электронного модуля базы данных по полученным результатам радиационного мониторинга.

Материалы и методы

Исследования проведены на территориях пос. Амдермы и в районе его расположения (рис. 2), которые в большей степени могут подвергнуться радиационному загрязнению при подъеме радиационно опасных объектов.

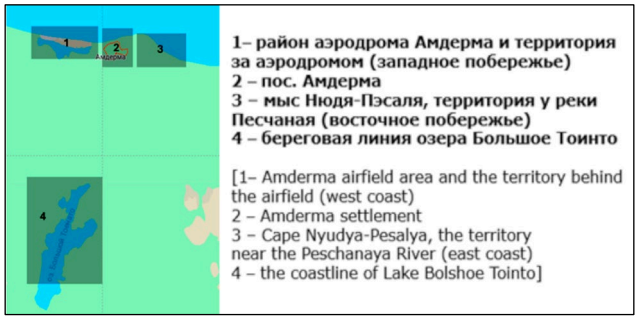


Рис. 2 Территория исследования радиационной обстановки
[Fig. 2 The territory of the radiation survey]

Поселок расположен в Заполярном районе Ненецкого автономного округа, на побережье Карского моря. Расстояние до окружного центра – города Нарьян-Мара – составляет 420 км. По состоянию на 2021 г. численность населения поселка составляла 472 человека [10]. Благодаря возросшему интересу граждан к арктической природе и культуре коренного населения в поселок в летний сезон приезжают порядка двухсот туристов.

В ходе экспедиционного выезда в 2022 г. проводились измерения следующих радиационных параметров: мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД); удельной активности (УА) техногенных радионуклидов в почве и донных отложениях; УА техногенных радионуклидов в пищевых продуктах (дикорастущие грибы, ягоды, рыба, оленина); объемной активности (ОА) техногенных радионуклидов в морской воде и УА в морских водорослях.

Измерения МАЭД проводились на высоте 1 м от поверхности земли с помощью портативных спектрометрических установок МКС-01А «Мультирад-М» (Россия) и МКС-АТ6101С (Республика Беларусь) методом непрерывной пешеходной гамма-съемки с привязкой к географическим координатам.

Отбор проб объектов окружающей среды и пищевых продуктов проводился в соответствии с действующими нормативными документами и методическими указаниями[3,4]. На исследуемых территориях отобрана 81 проба объектов окружающей среды. Места отбора проб выбирались с учетом охвата большей территории, а также с точки зрения наиболее частого пребывания людей. Пробы почвы и грунта массой 1 кг отбирали из поверхностного десятисантиметрового слоя в точках, равномерно расположенных по площади исследуемой территории.

Отбор проб морской воды объемом 5,0 л производился путем выемки на расстоянии 1–2 м от берега. Далее вода самотеком пропускалась через сорбент «АНФЕЖ» (Россия)[5], после чего сорбент отправлялся на спектрометрический анализ в лабораторию. Точки отбора проб морской воды выбирались на участках прибрежной акватории, свободной от водной растительности.

В качестве пищевых продуктов местного происхождения выбраны дикорастущие грибы и ягоды, рыба и мясо оленя.

Измерения активности гамма-излучающих радионуклидов в отобранных пробах проводились на гамма-спектрометре фирмы «Canberra» (США) с германиевым блоком детектирования в соответствии с методикой выполнения измерений[6]. Определение УА ^{90}Sr в отобранных пробах проводилось на радиометрических установках УМФ-2000 (Россия) после радиохимического выделения в соответствии с методическими указаниями[7,8].

Все исследования по определению содержания радионуклидов в пробах объектов окружающей среды были выполнены в Испытательном лабораторном центре ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (№ RA.RU.21БУ01 от 17.08.2015 г.).

Результаты

Мощность дозы гамма–излучения

Результаты измерений МАЭД представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Максимальные значения МАЭД зафиксированы на территории пос. Амдермы (0,17 мкЗв/ч) и на восточном побережье в районе мыса Нюдя-Пэсаля (0,15 мкЗв/ч).

---

[3] ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб [State Standard 17.4.3.01-2017. "Nature protection. Soils. General requirements for sampling" (In Russ.)]

[4] ГОСТ 32164-2013. Продукты пищевые. Метод отбора проб для определения стронция Sr-90 и цезия Cs-137 [State Standard 32164-2013. Food products. Sampling method for the determination of strontium Sr-90 and cesium Cs-137 (In Russ.)]

[5] Методика измерений удельной активности радионуклидов цезия в растворах. ФР.1.40.2015.21030. Редакция 2015 г. [Measurement procedure for specific activity of cesium radionuclides in solutions. FR.1.40.2015.21030. Edition 2015. (In Russ,)].

[6] Методика выполнения измерений активности гамма-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением гамма-спектрометрической системы LabSOCS. ООО НТЦ «РАДЭК» [Methodology of gamma-emitting radionuclide activity measurements in counting samples using LabSOCS gamma-spectrometric system. OOO NTC 'RADEK' (In Russ.)]

[7] МУК 4.3.2503-09. Стронций-90. Определение удельной активности в пищевых продуктах [Methodological guidelines 4.3.2503-09. Strontium-90. Determination of specific activity in foodstuffs (In Russ.)]

[8] МУК 2.6.1.033-2003. Стронций-90. Определение концентрации в почве экстракцией моноизооктиловым эфиром метилфосфоновой кислоты иттрия-90 [Methodological guidelines 2.6.1.033-2003. Strontium-90. Determination of the concentration in soil by extraction with yttrium-90 monoisooctyl ether of methylphosphonic acid (In Russ.)]

Таблица 1

Статистическое распределение величин МАЭД на обследуемых территориях

[Table 1

Statistical distribution of the ADER values in the surveyed areas]

Территория [Territory]	МАЭД, мкЗв/ч [ADER, μSv/h]*	
	Максимум [Maximum]	Медиана [Mediana]
Пос. Амдерма [Amderma settlement]	0,17	0,06
Район аэродрома Амдерма [Amderma airfield area]	0,14	0,04
Территория за аэродромом Амдерма [Territory behind Amderma airfield]	0,11	0,05
Мыс Нюдя-Пэсаля, территория у реки Песчаная (восточное побережье) [Cape Nyudya-Pesalya, area near the Peschanaya River (Eastern coast)]	0,15	0,1
Береговая линия озера Большое Тоинто [Coastline of Bolshoye Tointo Lake)]	0,12	0,06

* Значения приведены с учётом расширенной неопределённости измерений (P=0,95) [Values are given considering the expanded measurement uncertainty (P=0.95)].

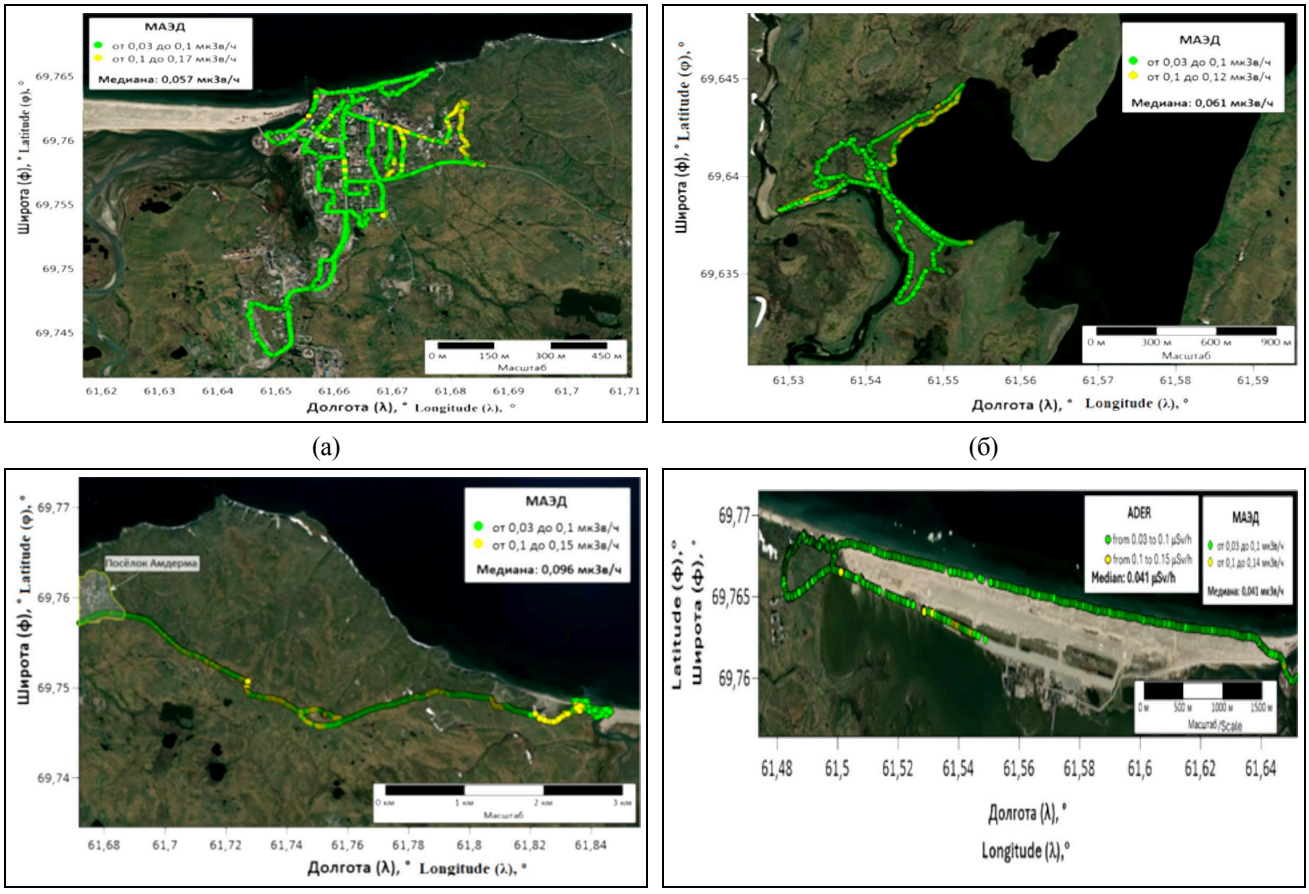


Рис. 3 Картограммы значений МАЭД на исследуемых территориях:
(а) пос. Амдерма, (б) береговая линия озера Большое Тоинто, (в) Мыс Нюдя-Пэсаля, территория у реки Песчаная (восточное побережье), (г) аэродром Амдерма и территория за аэродромом (западное побережье)

[**Fig. 3** Cartograms of ADER values in the surveyed territories:
(a) Amderma settlement, (b) Coastline of Bolshoye Tointo Lake, (c) Cape Nyudya-Pesalya, area near the Peschanaya River (eastern coast), (d) Amderma airfield area and the territory behind the Amderma airfield (west coast)]

Активность радионуклидов в пробах объектов окружающей среды

В таблице 2 приведены результаты анализа проб почвы, донных отложений, морской воды и морской биоты, наземной растительности и пищевых продуктов местного происхождения на содержание техногенных радионуклидов в исследуемых районах.

Таблица 2

Удельная активность радионуклидов в объектах окружающей среды

[Table 2

Activity concentration of radionuclides in environmental media]

Объект окружающей среды [Environmental media]	Место отбора [Sampling location]	Значения удельной активности радионуклида, Бк/кг [Activity concentration values of radionuclide, Bq/kg]	
		^{90}Sr	^{137}Cs
Почва [Soil]	Поселок Амдерма [Amderma settlement]	0,10 – 1,4 (0,37)	0,10 – 12 (0,49)
	Озеро Большое Тоинто [Bolshoye Tointo Lake]	0,10 – 0,26 (0,10)	0,26 – 13 (3,85)
	Восточное побережье от поселка Амдермы [East coast from Amderma settlement]	0,14 – 0,35 (0,16)	0,10 – 18 (0,46)
	Западное побережье от поселка Амдермы [West coast from Amderma settlement]	0,33 – 1,9 (0,43)	0,10 – 13 (0,74)
Донные отложения [Bottom sediments]	Карское море [The Kara Sea]	< 0,30	0,10 – 0,28 (0,10)
	Озеро Большое Тоинто [Bolshoye Tointo Lake]	< 0,30	2,4 – 2,7
Морская вода [Sea water]	Поселок Амдерма [Amderma settlement]	–	Ниже предела обнаружения [Below the detection limit] *
Пресная вода [Fresh water]	Озеро Большое Тоинто [Bolshoye Tointo Lake]	–	Ниже предела обнаружения [Below the detection limit] **
Водоросли [Seaweeds]	Восточное побережье от поселка Амдермы [East coast from Amderma settlement]	< 0,10	< 0,10
Рыба [Fish]	Поселок Амдерма [Amderma settlement]	0,10 – 0,12	0,10 – 0,11
Грибы [Mushrooms]	Озеро Большое Тоинто [Bolshoye Tointo Lake]	< 0,10	56 – 63
Ягоды [Berries]	Озеро Большое Тоинто [Bolshoye Tointo Lake]	0,17 – 0,45	3,8 – 4,4
Мясо оленя [Deer meat]	Поселок Амдерма [Amderma settlement]	< 0,10	1,0 – 3,9 (2,3)

В скобках указано медианное значение удельной активности радионуклидов. [The median value of specific activity of radionuclides is given in brackets]

Значения приведены с учётом расширенной неопределённости измерений (P=0.95) [Values are given considering the expanded measurement uncertainty (P=0.95)]

* Минимальная детектируемая активность (МДА) равна $1{,}8\times10^{-2}$ Бк/пробу. [The minimum detectable activity (MDA) is 1.8×10^{-2} Bq/sample]

** Минимальная детектируемая активность (МДА) равна $2{,}9\times10^{-3}$ Бк/пробу. [The minimum detectable activity (MDA) is 2.9×10^{-3} Bq/sample]

Почва

Значения УА ^{137}Cs в почве на территории пос. Амдермы и прилежащих территориях лежат в диапазоне от 0,1 до 18 Бк/кг. Полученные результаты свидетельствуют о пятнистом характере загрязнения почвы данным радионуклидом. Основываясь на данных [11], можно сделать вывод, что полученные в ходе исследования максимальные значения УА ^{137}Cs в десятисантиметровом слое почвы соответствуют средним значениям накопленного цезия в верхней части профиля тундровых и таежных почв за счет необменной сорбции (до 90 Бк/кг).

Донные отложения

Проведен анализ донных отложений прибрежной зоны Карского моря и прибрежной зоны пресноводного проточного озера Большое Тоинто на содержание техногенных радионуклидов.

Вследствие низкой сорбционной способности ^{90}Sr преимущественно остается в водной фазе и слабо накапливается в донных отложениях. Поэтому больший интерес представляет ^{137}Cs. Согласно полученным результатам, содержание данного техногенного радионуклида в донных отложениях в районе проживания населения составляет менее 5 Бк/кг (максимальное значение – 2.7 Бк/кг), что не противоречит литературным данным [12].

Повышенное содержание ^{137}Cs в донных отложениях озера по сравнению с морскими донными отложениями объясняется пониженным уровнем внешнего водообмена, ослабляющим инфильтрацию радионуклидов из донных отложений.

Морская и пресная вода

В силу гидродинамических особенностей мелководных участков Карского моря, создающих условия интенсивной инфильтрации осадков и определяющих низкий уровень накопления радионуклидов, цезий в водной среде присутствует в незначительных количествах. По данным исследовательской работы [13] ОА ^{137}Cs в верхних горизонтах воды Карского моря варьировала от следовой активности (ниже МДА) до 2 Бк/м^3, и в подавляющем большинстве проб воды также отмечалась крайне низкая объемная активность ^{137}Cs.

Морская биота, наземная растительность и пищевые продукты местного происхождения

Измеренные значения УА ^{90}Sr и ^{137}Cs в водорослях Карского моря составляют < 0,1 Бк/кг. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в рыбе составляло 0,1 Бк/кг. Нормативные значения[1,2] (100 Бк/кг по ^{90}Sr и 130 Бк/кг по ^{137}Cs) не превышены. Содержание ^{137}Cs в дикорастущих ягодах на порядок ниже гигиенических нормативов[1,2] (^{137}Cs – 160 Бк/кг). Аналогично, УА ^{137}Cs в пробах оленины не превышала установленных нормативов (300 Бк/кг).

Оценка доз облучения населения пос. Амдермы

Расчет доз облучения населения, проживающего на исследуемых территориях, проводился на основании расчета средней годовой эффективной дозы (СГЭД) облучения населения как суммы внешнего и внутреннего облучения в соответствии с МР 2.6.1.0063-12[9].

Величина СГЭД взрослого населения при внешнем облучении определялась на основании полученных максимальных значений МАЭД (0,17 мкЗв/ч) и стандартного времени пребывания населения (1800 ч)[10] на открытой местности на территории пос. Амдермы и составила 0,31 мЗв/год.

Для определения вклада содержания ^{137}Cs в почве в дозу внешнего облучения населения, рассчитана СГЭД от подстилающей поверхности по формуле:

$$E_{Cs}^{\text{внеш}} = k_{Cs} \times \sigma_{Cs} \ ,$$

где k_{Cs} – дозовый коэффициент при внешнем облучении от подстилающей поверхности гамма-излучением ^{137}Cs (12 (мкЗв/год)/(кБк/м^2));

σ_{Cs} – поверхностная активность ^{137}Cs в почве (2,5 кБк/м^2).

Значение поверхностной активности было рассчитано на основании максимального зарегистрированного значения УА почвы (18 Бк/кг) в 10-сантиметровом слое почвы и среднего значения плотности почвы (1,4 г/см^3).

По результатам расчета вклад содержания ^{137}Cs в почве в дозу внешнего облучения населения составил 0,03 мЗв/год, что составляет 10 % от дозы внешнего облучения.

Вследствие отсутствия значимого содержания ^{137}Cs в пресной воде (табл. 2), как потенциального источника питьевого водоснабжения, оценка дозы внутреннего облучения населения за счет перорального поступления радионуклидов осуществлялась на основании полученных результатов их УА исключительно в пищевых продуктах местного происхождения – мясо оленя, рыба, грибы и ягоды.

Дозу внутреннего облучения ($E_{Sr,Cs}^{\text{внут}}$, мЗв/год) за счет перорального поступления радионуклидов с пищей оценивали по формуле:

$$E_{Sr,Cs}^{\text{внут}} = \sum_{Sr,Cs} \sum_{\text{пищ.пр.}} e_{\text{пищ.пр.}}^{Sr,Cs} \cdot V_{\text{пищ.пр.}} \cdot S_{Sr,Cs\ \text{пищ.пр.}} \ ,$$

где $e_{\text{пищ.пр.}}^{Sr,Cs}$ – зависящий от возраста дозовый коэффициент для ^{90}Sr, ^{137}Cs в случае его перорального поступления в организм человека, мЗв/Бк;

$V_{\text{пищ.пр.}}$ – годовое потребление пищевого продукта, кг/год;

$S_{Sr,Cs\ \text{пищ.пр.}}$ – УА ^{90}Sr, ^{137}Cs в пищевом продукте, Бк/кг.

Необходимые данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения переменных для расчета СГЭД облучения населения при алиментарном поступлении техногенных радионуклидов

[Table 3

Values of variables for AAED calculating with alimentary intake of human-made radionuclides]

Вид пищевого продукта [Food product type]	Потребление пищевого продукта взрослым населением, кг/год [Food consumption by adult public, kg/a][14]	Максимальная удельная активность радионуклида в пищевом продукте, Бк/кг [The maximum specific activity of a radionuclide in a food product, Bq/kg]		Дозовый коэффициент при поступлении радионуклида с пищей[11], мЗв/Бк [The dose coefficient for the intake of a radionuclide from food, mSv/Bq]	
		^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
Мясо оленя [Deer meat]	76,8	0,10	3,9	$2,8\times10^{-5}$	$1,3\times10^{-5}$
Рыба [Fish]	44,4	0,12	0,11		
Грибы [Mushrooms]	7,6 *	0,33	63		
Ягоды [Berries]	27,7 *	0,45	4,4		

Значения приведены с учётом расширенной неопределённости измерений (P=0.95). [Values are given considering the expanded measurement uncertainty (P=0.95).]

* С 2005 года в группу «овощи и бахчевые» рациона питания добавлено потребление грибов, которые ранее учитывались как самостоятельная позиция. Годовое потребление ягод отражено в группе «ягоды и фрукты», что не дает возможности корректного расчета их годового потребления. В связи с этим, а также с отсутствием данных по Ненецкому автономному округу, для расчета дозы внутреннего облучения взяты значения годового потребления пищевых продуктов по Архангельской области. [Since 2005, the consumption of mushrooms, which were previously taken into account as an independent item, has been added to the "vegetables and melons" group of the diet. The annual consumption of berries is reflected in the "berries and fruits" group, which does not allow for the correct calculation of their annual consumption. In this regard, as well as the lack of data for the Nenets Autonomous Okrug, the values of annual food consumption in the Arkhangelsk Region were used to calculate the internal radiation dose] [15], [16].

На основании вышеприведенных данных была рассчитана суммарная СГЭД внутреннего облучения взрослого населения за счет перорального поступления цезия и стронция с местными пищевыми продуктами, которая составила 0,013 мЗв/год.

Таким образом, СГЭД облучения взрослого населения техногенными радионуклидами равна 0,04 мЗв/год, что составляет 6 % от СГЭД облучения населения за счет всех источников излучения [8].

[9] МР 2.6.1.0063-12 «2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии» [MR 2.6.1.0063-12 '2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. Monitoring of radiation doses of the population living in the supervision area of a radiation facility, under conditions of its normal operation and radiation accident' (In Russ.)]

[10] МУ 2.6.1.1088-02. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения [MU 2.6.1.1088-02. 2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. Assessment of individual effective public doses due to natural radiation sources (In Russ.)]

[11] CD. The ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public.

Обсуждение

Результаты, представленные в таблице 1 и на рисунке 3 (а–г), демонстрируют, что значения МАЭД на территории пос. Амдермы и на прилегающих к нему территориях соответствуют уровню естественного фона Ненецкого автономного округа.

Значения УА ^{137}Cs в почве в пос. Амдерме и близлежащих территориях (табл. 2) свидетельствуют о неравномерном пятнистом характере загрязнения данным радионуклидом. Медианное значение УА ^{137}Cs в почве на территории с максимальными значениями (до 18 Бк/кг, восточное побережье от поселка) составляет 0,46 Бк/кг. Ввиду слабой подвижности ^{137}Cs в почвах Севера максимальные содержания приходятся на поверхностный десятиметровый слой, что соответствует средним значениям УА для тундровых и таежных почв [11].

Анализ значений активности ^{137}Cs в донных отложениях [12] позволяет сделать вывод, что донные отложения Карского моря в районе пос. Амдермы характеризуются низкими уровнями содержания техногенных радионуклидов, которые сравнимы с фоновыми региональными значениями. Данный факт можно объяснить низкими уровнями ^{137}Cs в воде. Известно, что при низких концентрациях в морской воде цезий образует ионную форму Cs^{+}, которая имеет тенденцию оставаться в водной среде, слабо сорбироваться взвесью, а значит, в незначительной степени накапливаться в донных осадках.

Содержание ^{137}Cs в водорослях, произрастающих в водах Карского моря, низкое и составляет, по литературным данным [17], от 1,5 до 3 Бк/кг, что на порядок выше значений, полученных в ходе настоящего исследования.

Одним из важных путей облучения населения является пероральный путь поступления радионуклидов в организм человека. По этой причине особое внимание уделялось пищевым продуктам местного происхождения.

Сопоставить полученные значения УА ^{137}Cs и ^{90}Sr в ягодах и грибах (табл. 2) с данными радиационного контроля в регионе не представляется возможным ввиду их отсутствия в отчетных документах [8]. Согласно нормативным документам[1,2], допустимые уровни содержания ^{137}Cs в ягодах установлены на уровне 160 Бк/кг, в грибах 500 Бк/кг, при этом ^{90}Sr не нормируется. Нормативные уровни для отобранных проб ягод и дикорастущих грибов не превышены.

Удельное содержание техногенных радионуклидов в пробах промысловых рыб (табл. 2) на порядок ниже средних региональных значений, полученных по результатам радиационного контроля 2022 г. (^{137}Cs – 5,2 Бк/кг, ^{90}Sr – 8,1 Бк/кг) [8]. Нормативные значения[1,2] (100 Бк/кг для ^{90}Sr и 130 Бк/кг для ^{137}Cs) не превышены.

В целом, можно сделать вывод о том, что радиационная обстановка характеризуется фоновыми значениями содержания техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды. СГЭД облучения населения формируется преимущественно за счет природных источников излучения. Вклад техногенной составляющей (^{90}Sr и ^{137}Cs) в СГЭД облучения населения составляет 6 %.

В рамках выполнения данной работы разработан электронный модуль базы данных (БД) по полученным результатам радиационного мониторинга в пос. Амдерме, входящий в общую базу данных (БД Арктика, свидетельство о регистрации № 2022621890).

Заключение

Для характеризации состояния территорий проживания населения по радиационному фактору перед подъемом затопленных объектов проведены радиационные исследования прибрежной зоны районов проживания населения, близлежащих к месту затопления радиационно опасного объекта. На основании полученных данных выполнена оценка радиационного состояния территории и морской акватории пос. Амдермы.

1. Установлено, что уровни МАЭД на исследуемых территориях соответствуют естественному гамма-фону региона и не превышают среднегодовое значение для Ненецкого автономного округа.

2. Почвы и донные отложения в районе проживания населения по содержанию техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr соответствуют средним значениям региональных показателей.

3. Показано, что уровни загрязнения радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr пищевых продуктов на несколько порядков ниже соответствующих нормативов.

4. СГЭД облучения населения формируется преимущественно за счет природных источников излучения. Вклад техногенной составляющей исчисляется 6 %.

Состояние исследуемой территории по радиационному фактору стабильное.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Шандала Н.К. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта текста статьи.

Шитова А.А. – сбор литературного материала, написание текста статьи.

Исаев Д.В. – сбор и обработка полученных в ходе исследования данных.

Бельских Ю.С. – сбор и обработка полученных в ходе исследования данных.

Титов А.В. – научное консультирование, редактирование текста статьи.

Семенова М.П. – редактирование текста статьи и его перевод на английский язык.

Филонова А.А. – научное консультирование, редактирование текста статьи.

Информация о конфликте интересов

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

Сведения об источнике финансирования

Финансирование работы осуществлялось по Государственному контракту №10.004.20.0 от 09 июня 2020 г. с ФМБА России в рамках реализации Государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения» (утверждена Постановлением Правительства РФ от 26 декабря 2017 г. № 1640).

Литература

1. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М.: ИздАТ, 2005. С. 15-47.
2. Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. М.: ИБРАЭ РАН, 2015. С. 96-190.
3. Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В., Никитин В.С. Проблемы радиационной реабилитации арктических

морей, способы и пути их решения // Арктика: экология и экономика. 2011. № 1(1). С. 74.

4. Антипов С.В., Кобринский М.Н., Шведов П.А. и др. Особенности обращения с затопленной в Арктике АПЛ К-27 с ядерным топливом в реакторах после ее возможного подъема // Арктика: экология и экономика. 2020. № 1(37). С. 37-44. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-37-44.
5. Лобковский Л.И., Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А. Подводная лодка К-27 – эхо прошлого // Арктика: экология и экономика. 2014. №2(14). С. 36-39.
6. Артемьев Г.Б., Епифанов А.О., Каткова М.Н. и др. Мониторинг радиационной обстановки заливов Степового, Литке и прибрежной зоны в районе п. Амдерма в 2020-2021 году. Сборник тезисов докладов XVIII Международной научно-практической конференции Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2022., Обнинск, 28-29 ноября 2022. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2023. С. 164-166.
7. Официальный сайт ФГБУ «Северное УГМС». Справка о радиационной обстановке на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» в 2022 году. URL: http://www.sevmeteo.ru/monitoring/radiation/ (Дата обращения: 05.12.2024).
8. Портал органов государственной власти НАО. Радиационно-гигиенические паспорта территории НАО (2011-2022 гг.). URL: https://dprea.adm-nao.ru/ekologiya/informaciya-ob-ekologicheskoj-bezopasnosti-i-radiacionnoj-obstanovke-n/radiacionno-gigienicheskie-pasporta-territorii-nao/ (Дата обращения: 05.12.2024).
9. Гущина Ю.В., Шандала Н.К., Серегин В.А. и др. Радиационное обследование территории села Териберка и острова Кильдин Мурманской области // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 117-127 DOI:10.21514/1998-426X-2024-17-2-117-127.
10. Официальный сайт администрации сельского поселения «Поселок Амдерма» Заполярного района Ненецкого автономного округа. Паспорт муниципального образования «Поселок Амдерма» Ненецкого автономного округа по состоянию на 01 апреля 2021 года. URL: https://amderma-adm.ru/pasport-sel-skogo-poseleniya.html (Дата обращения: 07.12.2024).
11. Семенков И.Н., Усачева А.А. Цезий-137 как маркер современных почвенных турбаций // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-7. С. 1478-1481.
12. Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2. С. 82-93.
13. Матишов Г.Г., Касаткина Н.Е., Усягина И.С. Техногенная радиоактивность вод центрального полярного бассейна и смежных районов Арктики // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 1. С. 93-98 DOI: 10.31857/S0869-5652485193-9.
14. Официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области и Ненецкому автономному округу. Потребление, пищевая и энергетическая ценность продуктов питания в домашних хозяйствах URL https://29.rosstat.gov.ru/standards_of_life 111 (Дата обращения: 15.12.2024).
15. 15. Методика получения данных о потреблении продуктов питания. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2022 году. Федеральная служба государственной статистики. Москва, 2023.
16. 16. Степовая Д.А., Унгуряну Т.Н. Оценка риска развития общетоксических эффектов для здоровья населения, связанного с загрязнением дикорастущих грибов и ягод тяжёлыми металлами. Экология человека. 2024. Т. 31, кн. 1. С. 77-88. DOI: 10.17816/humeco624154.
17. Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Усягина И.С. и др. Концентрация искусственных радиоизотопов в биоте Арктического шельфа в современных условиях (2013-2018 гг.) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Том 494, № 1, С. 71-75.

Поступила: 26.05.2025

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: 0000-0003-1290-3082

Шитова Анастасия Александровна – 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: shitovanastasia23@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9584-4286

Исаев Дмитрий Викторович – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-9687-628X

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: 0000-0001-6013-6610

Титов Алексей Викторович – старший научный сотрудник лаборатории радиационной коммунальной гигиены, Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-3797-2677

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: 0000-0003-0904-0415

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: 0000-0002-0832-2878

Для цитирования: Шандала Н.К., Шитова А.А., Исаев Д.В., Бельских Ю.С., Титов А.В., Семенова М.П., Филонова А.А. Оценка радиационного состояния территории и прибрежной акватории поселка Амдермы Ненецкого автономного округа // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 75–84. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-75-84

Assessment of the radiation condition of the territory and the coastal water area of the Amderma settlement of Nenets Autonomous Okrug

Nataliya K. Shandala , Anastasiya A. Shitova, Dmitriy V. Isaev, Yuriy S. Belskikh, Aleksey V. Titov, Mariya P. Semenova, Anna A. Filonova

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

This publication describes the ongoing cycle of works aimed at the radiation survey in the Arctic zone of the Russian Federation, in order to assess the primary (background) levels of human-made radionuclides before starting work on lifting and disposing of flooded and sunken radiation facilities with spent nuclear fuel and radioactive waste based on the Action Plan for the implementation of the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Assuring National Safety for the period up to 2035 approved by the Government Decree No. 645 dated 26 October, 2020. Materials and Methods: The radiation survey was carried out in the coastal zone of residential areas near the site of the flooding of the K-27 nuclear submarine and radiation facilities in the Kara Sea: the Amderma settlement, Nenets Autonomous Okrug, as well as its natural waters. The article includes results of measuring the ambient dose equivalent rate of gamma radiation in open areas by the pedestrian gamma survey method, and determining the content of human-made radionuclides in samples of environmental media (soil, bottom sediments, aquatic vegetation) and local foodstuffs by gamma spectrometric and radiometric methods with preliminary sampling in accordance with the established procedure provided by current regulatory documents and guidelines. Results and Discussion: the research results show that the state of the surveyed area is generally stable in terms of radiation factor; the content of radionuclides is at the background level characteristic of the Nenets Autonomous Okrug, not exceeding radiation safety standards. External and internal public radiation exposure was assessed. Conclusion: It was shown that the public radiation dose is formed mainly due to natural radiation sources. As part of this work, an electronic database module was developed based on the results of radiation monitoring in the Amderma settlement, which is part of the general database (registration certificate No. 2022621890).

Key words: *Arctic zone, nuclear submarine, K-27, flooded facilities, radiation monitoring, Amderma settlement, human-made radionuclides, lifting of flooded facilities.*

Authors' personal contribution

Shandala N.K. – the concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Shitova A.A. – collection of literary material, writing the text of the article.

Isaev D.V. – collection and processing data obtained during the study.

Belskikh I.S. – collection and processing data obtained during the study.

Titov A.V. – scientific consulting, editing the text of the article.

Semenova M.P. – editing the text of the article and translating it into English.

Filonova A.A. – scientific consulting, editing the text of the article.

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 State Contract No.10.004.20.0 dated June 09, 2020, with the FMBA of Russia as part of the implementation of the State Program of the Russian Federation 'Health Development' (approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated December 26, 2017, No. 1640).

References

1. Sivintsev YuV, Vakulovsky SM, Vasiliev AP, Vysotsky VL, Gubin AT, Danilyan VA, et al. Technogenic Radionuclides in the Seas Washing Russia. Radioecological Consequences of Radioactive Waste Disposal in the Arctic and Far Eastern Seas ('Belaia kniga-2000'). Moscow: IzdAT; 2005. P. 15-47. (In Russian).
2. Sarkisov AA, Sivintsev YuV, Vysotsky VL, Nikitin VS. Atomic Legacy of the Cold War at the Bottom of the Arctic. Moscow: IBRAE RAN; 2015. P. 96-190. (In Russian).
3. Sarkisov AA, Vysotsky VL, Sivintsev YuV, Nikitin VS. Problems of Radiation Remediation of the Arctic Seas, Methods and Ways of Their Solution. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economics.* 2011;1(1): 74. (In Russian).
4. Antipov SV, Kobrinsky MN, Shvedov PA, Kulikov KN, Nizamutdinov RA, Lodochnikov SV. Features of Handling the K-27 Nuclear Submarine Sunk in the Arctic with Nuclear Fuel in the Reactors after its Possible Lifting. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economics.* 2020;1(37): 37-44. (In Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-37-44.

Anastasiya A. Shitova
State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency
Address for correspondence: 46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123098, Russia; E-mail: shitovanastasia23@mail.ru

5. Lobkovsky LI, Dmitrevsky NN, Ananyev RA. Submarine K-27 – an Echo of the Past. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economics.* 2014;2(14): 36-39. (In Russian).
6. Artemyev GB, Epifanov AO, Katkova MN, Uvarov AD, Tarasenko AO, Kartseva AI, et al. Monitoring the Radiation Situation in the Stepovogo, Litke Bays and the Coastal Zone Near the Amderma Settlement in 2020-2021. Collection of abstracts of reports of the XVIII International scientific and practical conference The Future of Nuclear Energy – AtomFuture 2022., Obninsk, 28-29 November 2022. Obninsk: IATE NIIAU MIFI; 2023. P. 164-166. (In Russian).
7. Information on the Radiation Situation in the Territory of the Federal State Budgetary Institution "Northern UGMS" in 2022. Official website of the Federal State Budgetary Institution "Northern UGMS". Available from: http://www.sevmeteo.ru/monitoring/radiation/ [Accessed 5 Dec 2024]. (In Russian).
8. Radiation and Hygienic Passports of the Territory of the NAO (2011-2023). Portal of government bodies of the NAO. Available from: https://dprea.adm-nao.ru/ekologiya/informaciya-ob-ekologicheskoj-bezopasnosti-i-radiacionnoj-obstanovke-n/radiacionno-gigienicheskie-pasporta-territorii-nao/ [Accessed 5 Dec 2024]. (In Russian).
9. Gushchina IV, Shandala NK, Seregin VA, Isaev DV, Starinskiy VG, Shitova AA, et al. Radiation survey of the territory of Teriberka village and Kildin Island of Murmansk Region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 117-127. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-117-127.
10. Passport of the Municipality 'Amderma Settlement' of the Nenets Autonomous Okrug as of April 1, 2021. Official website of the administration of the rural settlement "Amderma Settlement" of the Zapolyarny District of the Nenets Autonomous Okrug. Available from: https://amderma-adm.ru/pasport-sel-skogo-poseleniya.html [Accessed 7 Dec 2024]. (In Russian).
11. Semenkov IN, Usacheva AA. Cesium-137 as a Marker of Modern Soil Turbulence. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental research.* 2013;10-7: 1478-1481. (In Russian).
12. Ilyin GV, Usyagina IS, Kasatkina NE. Geo-Ecological State of the Environment of the Seas of the Russian Sector of the Arctic under Current Man-Made Loads. *Vestnik Kolskogo nauchnogo centra RAN = Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;2: 82-93. (In Russian).
13. Matishov GG, Kasatkina NE, Usyagina IS. Technogenic Radioactivity of the Waters of the Central Polar Basin and Adjacent Arctic Areas. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*. 2019;(1): 93-98. (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5652485193-9.
14. Consumption, Nutritional and Energy Value of Food Products in Households. Official website of the Office of the Federal State Statistics Service for the Arkhangelsk Region and the Nenets Autonomous Okrug. Available from: https://29.rosstat.gov.ru/standards_of_life111 [Accessed 15 Dec 2024]. (In Russian).
15. Methodology for obtaining data on food consumption. Food consumption in households in 2022. Federal State Statistics Service. Moscow; 2023. (In Russian).
16. Stepovaya DA, Ungureanu TN. Assessment of health risks posed by heavy metal contamination of wild mushrooms and berries. *Ekologiya cheloveka = Human ecology*. 2024;31(1): 77-88. (In Russian). DOI: 10.17816/humeco624154.
17. Matishov GG, Ilyin GV, Usyagina IS, Valuyskaya DA, Kirillova EE. Concentration of Artificial Radioisotopes in the Biota of the Arctic Shelf in Current Conditions (2013-2018). *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o Zemle = Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences.* 2020;494(1): 71-75. (In Russian).

Received: May 26, 2025

Nataliya K. Shandala – Doctor of Medical Science, Deputy General Director for Science and Biophysics Technologies, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0003-1290-3082

For correspondence: Anastasiya A. Shitova – Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123098, Russia; E-mail: shitovanastasia23@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9584-4286

Dmitriy V. Isaev – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0002-9687-628X

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: 0000-0001-6013-6610

Aleksey V. Titov – Senior Researcher of Laboratory of Radiation Public Hygiene, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0002-3797-2677

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: 0000-0003-0904-0415

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: 0000-0002-0832-2878

For citation: Shandala N.K., Shitova A.A., Isaev D.V., Belskikh Yu.S., Titov A.V., Semenova M.P., Filonova A.A. Assessment of the radiation condition of the territory and the Coastal water area of the Amderma settlement of Nenets Autonomous Okrug. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 75–84. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-75-84

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-85-94
УДК: 614.876:615.849

Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии

Водоватов А.В.[1,2], Горский Г.А.[1,3], Чипига Л.А.[1,4,5], Шацкий И.Г.[1], Дружинина П.С.[1], Лихачева А.В.[1,6], Вишнякова Н.М.[1,3]

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

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

[3] Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

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

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

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

С 01.09.2025 г. вступил в силу СанПиН 2.6.4115-25, который является документом, содержащим требования по обеспечению радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения, в том числе используемыми в рентгеновской диагностике и терапии. При этом утрачивают силу ряд нормативно-правовых документов в области радиационной безопасности, включая СанПиН 2.6.1.1192-03 и СанПиН 2.6.1.2891-11. СанПиН 2.6.4115-25 содержит ряд новых, а также переработанных и актуализированных требований к обеспечению радиационной безопасности при эксплуатации генерирующих источников ионизирующего излучения, использующихся в медицинской практике. Целью данной работы является представление изменений и нововведений в СанПиН 2.6.4115-25 относительно утративших силу с 01.09.2025 г. нормативных правовых актов (СанПиН 2.6.1.1192-03 и СанПиН 2.6.1.2891-11), устанавливающих требования к радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии. Материалы и методы: Сравнительный анализ текстов СанПиН 2.6.4115-25, СанПиН 2.6.1.1192-03 и СанПиН 2.6.1.2891-11. Результаты исследования и обсуждение: В СанПиН 2.6.4115-25 были акутализированы все ключевые требования, необходимые для обеспечения радиационной защиты пациентов при медицинском облучении. Заключение: В статье рассмотрены предпосылки для переработки действующих санитарных правил и нормативов, а также представлены предложения по совершенствованию нормативного обеспечения радиационной защиты при медицинском облучении.

Ключевые слова: *радиационная безопасность, радиационная гигиена, санитарные правила и нормативы, рентгеновская диагностика, рентгеновская терапия.*

Введение

В соответствии с постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 27.03.2025 № 6 «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения»[1], с 01.09.2025 г. вступает в силу СанПиН 2.6.4115-25, который является документом по радиационной безопасности при работе с различными источниками ионизирующего излучения. При этом утрачивают силу ряд нормативных правовых актов (НПА) в области радиационной безопасности, в том числе СанПиН

[1] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 27.03.2025 N 6 «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения» (Зарегистрировано в Минюсте России 21.04.2025 N 81916) [Resolution of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation dated 27 March 2025 No. 6 "On Approval of the Sanitary and Epidemiological Rules and Norms SanPiN 2.6.4115-25 'Sanitary and Epidemiological Requirements in the Field of Radiation Safety of the Population in the Use and Handling of Sources of Ionizing Radiation'" (registered by the Ministry of Justice of Russia on 21 April 2025, registration No. 81916 (In Russ.)]

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

2.6.1.1192-03[2] и СанПиН 2.6.1.2891-11[3], которые устанавливали требования к обеспечению радиационной безопасности в рентгеновской диагностике и терапии. Новый документ содержит ряд новых, а также переработанных и актуализированных требований к обеспечению радиационной безопасности при эксплуатации медицинских генерирующих источников ионизирующего излучения, в том числе рентгеновских аппаратов и компьютерных томографов.

Цель исследования – представление изменений и нововведений в СанПиН 2.6.4115-25 относительно утрачивающих силу с 01.09.2025 г. документов, устанавливающих требования к радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии. Дополнительно был выполнен анализ требований, исключенных из текста СанПиН 2.6.4115-25, для всех видов рентгеновской и радионуклидной диагностики и терапии.

Предпосылки для переработки действующих СанПиН

Переработка раздела по обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении началась после исключения всех СанПиН по медицинскому облучению: СанПиН 2.6.1.1192-03[2], СанПиН 2.6.1.2891-11[3], СанПиН 2.6.1.2368-08[4] и СанПиН 2.6.1.2388-15[5] из т.н. «белого списка» НПА (Постановление Правительства РФ № 2467 от 31.12.2020)[6]. Данный документ содержит перечень НПА, принятых до 1 января 2020 года, для которых была отсрочена процедура «регуляторной гильотины» в силу требований Статьи 15 Федерального закона № 247-ФЗ[7] и использующихся для проведения государственного контроля и надзора. При этом изначально подразумевалось, что будет проводиться исключительно актуализация действующих СанПиН с учётом требований к разработке НПА Роспотребнадзора:

– включение в состав санитарных правил только тех обязательных требований, которые находятся в компетенции Роспотребнадзора;

– отсутствие дублирования обязательных требований, содержащихся в других НПА;

– устранение устаревших и/или не действующих на настоящий момент обязательных требований (например, требования к наличию санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию или на продукцию (оборудование), являющуюся генерирующим источником ионизирующего излучения (ИИИ);

– включение в состав санитарных правил только обязательных требований с исключением всех рекомендательных положений и/или принципов хорошей практики.

Вопросы гармонизации с регулирующими документами международных организаций (например, с основным стандартом безопасности МАГАТЭ BSS GSR part 3 [1]) не рассматривались в связи с тем, что разработка новых санитарных правил проходила в рамках действующего Федерального закона № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (далее - Закон № 3-ФЗ)[8].

При разработке СанПиН 2.6.4115-25 важным фактором являлась необходимость своевременного обеспечения актуализированными гигиеническими требованиями в области радиационной безопасности к условиям эксплуатации ИИИ для тех источников и видов работ, обязательные требования к которым должны быть переработаны с 01.09.2025 г.

Изначально предусматривалась переработка всего набора санитарных правил, регламентирующих вопросы обеспечения радиационной безопасности при использовании любых ИИИ (включая НРБ 99/2009[9],

---

[2] СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» [Sanitary Regulations and Standards “Hygienic requirements for the design and operation of X-ray machines and the conduct of X-ray examinations. SanPiN 2.6.1.1192-03”. (In Russ.)]

[3] СанПиН 2.6.1.2891-11 «Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения» [Sanitary Regulations and Standards SanPiN 2.6.1.2891-11 “Requirements on radiation safety for manufacturing, use and decommissioning (utilization) of the medical equipment containing sources of ionizing exposure” (In Russ.)]

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

[5] СанПиН 2.6.1.3288-15. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии. М.: Роспотребнадзор, 2015. 59 с. [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.3288-15. Hygienic requirements for radiation safety during positron emission tomography. Moscow: Rospotrebnadzor; 2015. 59 p. (In Russ.)]

[6] Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2467 «Об утверждении перечня нормативных правовых актов и групп нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, нормативных правовых актов, отдельных положений нормативных правовых актов и групп нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти, правовых актов, отдельных положений правовых актов, групп правовых актов исполнительных и распорядительных органов государственной власти РСФСР и Союза ССР, решений Государственной комиссии по радиочастотам, содержащих обязательные требования, в отношении которых не применяются положения частей 1, 2 и 3 статьи 15 Федерального закона ... (с изменениями и дополнениями)» [Resolution of the Government of the Russian Federation dated 31 December 2020 No. 2467 “On Approval of the List of Regulatory Legal Acts and Groups of Regulatory Legal Acts of the Government of the Russian Federation; regulatory legal acts, individual provisions of regulatory legal acts, and groups of regulatory legal acts of federal executive authorities; legal acts, individual provisions of legal acts, and groups of legal acts of the executive and administrative bodies of state power of the RSFSR and the USSR; and decisions of the State Commission for Radio Frequencies that contain mandatory requirements, in respect of which the provisions of Parts 1, 2 and 3 of Article 15 of the Federal Law ... do not apply (as amended and supplemented).” (In Russ.)]

[7] Федеральный закон от 31.07.2020 № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации» (ред. от 28.02.2025) [Federal Law No. 247-FZ of 31 July 2020 “On Mandatory Requirements in the Russian Federation” (as amended on 28 February 2025) (In Russ.)]

[8] Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011) «О радиационной безопасности населения» [Federal State Law N 3-FZ, 09.01.1996 “On the radation safety of the public” (In Russ.)]

[9] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 N 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» (вместе с «НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы») (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 N 14534). [Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. (In Russ.)]

ОСПОРБ 99/2010[10] и СанПиН на условия работ с отдельными видами ИИИ), однако на заключительном этапе работы было принято решение о сохранении действующих редакций НРБ 99/2009 и ОСПОРБ 99/2010 до внесения изменений в Закон № 3-ФЗ. В связи с этим ряд общих требований, распространяющихся на все медицинские ИИИ (например, требования к номенклатуре и кратности проведения процедур радиационного контроля), были интегрированы в проект «нового» СанПиН. И напротив, ряд положений, необходимость переработки которых давно назрела (например, снятие фактически устаревших ограничений на размещение различных типов цифровых рентгеновских аппаратов, использующихся в стоматологии в жилых зданиях, или изменение подходов к ограничению облучения медицинскими ИИИ отдельных категорий лиц, не получающих непосредственной пользы от облучения), были оставлены без изменений в связи с тем, что такие положения и ограничения сохранились в действующих НРБ 99/2009 и ОСПОРБ 99/2010.

При разработке СанПиН 2.6.4115-25 в полном объеме были учтены результаты научных исследований и практических работ, выполненных ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева и иными научно-практическими организациями [2–17], а также результаты анализа обращений эксплуатирующих организаций за период 2015-2024 гг. в рамках обоснования предполагаемых изменений.

Список основных положений, исключенных из действующих требований по обеспечению радиационной безопасности при медицинском облучении

В соответствии с вышеуказанными требованиями, объём информации, содержащейся в СанПиН 2.6.4115-25, в том числе и в главах по обеспечению радиационной защиты персонала, населения и пациентов при проведении процедур рентгеновской диагностики и терапии, был существенно сокращён. В первую очередь были удалены все дублирования обязательных требований, содержащихся в НРБ 99/2009 и ОСПОРБ 99/2010:

– общие принципы обеспечения радиационной безопасности и детализация требований к реализации принципов обоснования и оптимизации (глава II СанПиН 2.6.1.1192-03, главы IV, V, VI СанПиН 2.6.1.3288-15);

– основные пределы доз для различных категорий персонала и населения (глава II СанПиН 2.6.1.1192-03, п. 2.3.3 СанПиН 2.6.1.2368-08, п. 3.1.10 СанПиН 2.6.1.3288-15);

– общие требования к обязанностям медицинских организаций (администрации радиационных объектов) по обеспечению радиационной безопасности (глава II СанПиН 2.6.1.1192-03, п. 1.2.3 СанПиН 2.6.1.2368-08, п. 2.5 СанПиН 2.6.1.3288-15);

– общие требования к проведению производственного радиационного контроля (глава VIII СанПиН 2.6.1.1192-03, глава X СанПиН 2.6.1.3288-15, п. 3.5. СанПиН 2.6.1.2368-08);

– общие требования к персоналу групп А и Б (глава VI СанПиН 2.6.1.1192-03, п. 2.3.3 СанПиН 2.6.1.2368-08, глава IV СанПиН 2.6.1.3288-15).

Требования к методикам проведения радиационного контроля были исключены в связи с наличием действующих методических указаний МУК 2.6.1.3829-22[11].

Также были исключены все положения и/или обязательные требования, находящиеся в компетенции Минздрава и Минобрнауки:

– требования к подготовке, обучению и компетенции медицинского персонала, проводящего рентгеновские (рентгенорадиологические) процедуры;

– требования к ведению медицинской документации и формы документов отчетности;

– требования к маршрутизации пациентов в рамках направления на рентгенорадиологическое исследование и оценки обоснованности выполнения данного исследования;

– требования к действиям медицинского персонала при проведении рентгеновских (рентгенорадиологических) процедур;

– требования к методикам проведения рентгеновских (рентгенорадиологических) процедур у детей;

– все требования, реализуемые функциональными организациями Минздрава (например, необходимость выбора помещений, входящих в состав рентгеновского кабинета или отделения, и согласования проектной документации на рентгеновский кабинет с рентгенорадиологическим отделением либо иной аналогичной по функциям медицинской организацией региона или требование к наличию технического паспорта на рентгеновский кабинет).

Данные требования ранее содержались в санитарных правилах в связи с тем, что требования разрабатывались, когда государственная санитарно-эпидемиологическая служба Российской Федерации (предшественник Роспотребнадзора) входила в состав Министерства здравоохранения. В существующей ситуации вышеуказанные требования должны быть включены в НПА Минздрава или Росздравнадзора. Реализация возможна после внесения поправок в Закон № 3-ФЗ, закрепляющих распределение полномочий между федеральными органами исполнительной власти (ФОИВ) в области обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении населения, что позволило бы обеспечить гармонизацию национального законодательства с рекомендациями МАГАТЭ.

Также из СанПиН 2.6.4115-25 были исключены все требования к защите от нерадиационных факторов в отделениях лучевой диагностики и терапии, в том числе к технической, пожарной безопасности и электробезопасности, а также к отделке помещений, как не имеющим отношения к вопросам гигиенических требований по обеспечению радиационной безопасности (глава X СанПиН 2.6.1.1192-03, пункт 3.6 СанПиН 2.6.1.2368-08, глава IX СанПиН 2.6.1.3288-15). Часть требований были исключены с учетом того, что

[10] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 N 40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» (вместе с "СП 2.6.1.2612-10. ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы...") (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 N 18115) [Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10 “Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010)”. (Registered in the Ministry of Justice of Russia on 11.08.2010 N 41970) (In Russ.)]

[11] Методические указания МУК 2.6.1.3829-22 «Проведение радиационного контроля при медицинском использовании рентгеновского излучения» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 23 декабря 2022 г.) [Methodological Guidelines MUK 2.6.1.3829-22 “Radiation Monitoring During the Medical Use of X-Ray Radiation” (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Rospotrebnadzor) on 23 December 2022) (In Russ.)]

они регламентированы в иных НПА Роспотребнадзора (в частности, требования к микроклимату содержатся в СП 2.1.3678-20[12]). При этом требования к вентиляции были сохранены (пп. 189-190 СанПиН 2.6.4115-25) в связи с необходимостью учитывать специфику эксплуатации генерирующих ИИИ в медицинских организациях (с учетом наличия фотолабораторий для кабинетов с аналоговыми рентгеновскими аппаратами). Все требования к вентиляции были гармонизированы с требованиями, представленными в СП 2.1.3678-20.

Два важных раздела, присутствовавшие ранее в санитарных правилах и нуждающихся в актуализации, не были включены в СанПиН 2.6.4115-25: требования к реагированию на радиационные и нерадиационные аварии (нештатные ситуации) при диагностическом и терапевтическом облучении пациентов и требования к обеспечению радиационной защиты беременных пациенток.

Выполненный авторами СанПиН 2.6.4115-25 анализ действующих отечественных и международных подходов к классификации и реагированию на различные нештатные ситуации в рентгеновской диагностике и терапии [14], в частности, связанных с избыточным облучением пациентов, показал, что данные ситуации нецелесообразно интерпретировать как радиационные аварии. Необходимо совершенствовать понятийный аппарат и подходы к выявлению, предупреждению и реагированию на такие нештатные ситуации. Это возможно только в рамках межведомственного взаимодействия между Минздравом и Роспотребнадзором. Обеспечение такого взаимодействия требует актуализации Закона № 3-ФЗ и не может быть решено в рамках отдельных санитарных правил.

Для разработки требований к обеспечению радиационной безопасности при диагностическом и терапевтическом облучении беременных пациенток необходимо определить и зафиксировать в нормативных документах допустимые уровни облучения плода (ограничения поглощенной дозы в плоде), исключающих развитие детерминированных эффектов (пороков развития) у плода и минимизирующих вероятность развития стохастических эффектов у ребенка после рождения. По данному вопросу на текущий момент в отечественной и международной практике не существует консенсуса: устанавливать ограничения дозы за процедуру, или за весь период беременности; использовать ли ограничения поглощенной дозы в плоде в принципе; как вести учет накопленной дозы у беременной женщины за весь период беременности и пр. Представленные в пп. 7.15-7.18 СанПиН 2.6.1.1192-03 требования к обеспечению радиационной защиты беременных являются избыточно жесткими (особенно требования к прерыванию беременности при облучении плода в дозе, превышающей 100 мЗв) и не соответствуют международной практике. Ограничение доз для беременных пациенток предполагается к утверждению при переработке Норм радиационной безопасности.

Анализ изменений и дополнений в обязательные требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии

В СанПиН 2.6.4115-25 были конкретизированы понятия, которые отсутствовали до этого в СанПиН 2.6.1.1192-03 и считались общеупотребительными.

Введены четкие определения рентгенодиагностического и рентгенотерапевтического кабинетов (п. 166). Также введено определение рентгеновского кабинета (общее название для рентгенодиагностического и рентгенотерапевтического кабинета), а также процедурной рентгеновского кабинета (п. 170).

Дано определение рентгеностоматологического кабинета (п. 169), под которым понимается стоматологический кабинет медицинской организации, в котором размещен один или несколько диагностических медицинских рентгеновских аппаратов для интраоральной рентгенографии с цифровым приемником изображения. Все остальные типы аппаратов, применяемых в стоматологии, должны размещаться в рентгенодиагностических кабинетах стоматологических организаций (рентгеновских стоматологических кабинетах) в соответствии с п. 168 СанПиН 2.6.4115-25. Процедурной рентгеностоматологического кабинета является помещение, в котором размещены стоматологическое кресло, стоматологическая установка и рентгеностоматологический аппарат. Данные определения необходимы для дифференцированного подхода к обеспечению радиационной безопасности в стоматологии, а также для исключения использования различной номенклатуры названий при проектировании операционных и манипуляционных кабинетов, в которых проводятся вмешательства под контролем рентгеновского излучения.

Требования к размещению и эксплуатации рентгеновских аппаратов

Пунктом 167 СанПиН 2.6.4115-25 введены требования к размещению и использованию переносных, передвижных и портативных диагностических рентгеновских аппаратов. В частности, их применение ограничено палатами (реанимационными, платами для пациентов и пр.) и операционными для предотвращения использования в качестве эрзац-стационарных рентгеновских аппаратов. Тем же пунктом разрешается использование переносных диагностических рентгеновских аппаратов бригадами скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи, а также Всероссийской службой медицины катастроф вне медицинских организаций.

Следует отметить, что в соответствии с п. 3.2.7 ОСПОРБ 99/2010 не допускается размещение ИИИ и работа с ними в жилых зданиях и детских организациях. Таким образом, разрешение использования переносных рентгеновских аппаратов за пределами медицинских организаций не подразумевает разрешение их применения в жилых зданиях. Обеспечение безопасных условий работ при эксплуа-

[12] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 24 декабря 2020 г. N 44 «Об утверждении санитарных правил СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг» (с изменениями и дополнениями) [Resolution of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation dated 24 December 2020 No. 44 “On Approval of Sanitary Rules SP 2.1.3678-20 ‘Sanitary and Epidemiological Requirements for the Operation of Premises, Buildings, Structures, Equipment, and Transport, as well as for the Conditions of Activities of Business Entities Engaged in the Sale of Goods, Performance of Work, or Provision of Services’ (as amended and supplemented).” (In Russ.)]

тации различных видов рентгенодиагностического оборудования, в том числе и переносных рентгеновских аппаратов, в жилых зданиях (квартирах граждан) до сих пор не обосновано надлежащим образом.

В соответствии с пп. 198 и 199 СанПиН 2.6.4115-25 эксплуатация передвижного или переносного рентгеновского аппарата может проводиться только с использованием штативного устройства для фиксации аппарата, соблюдением требований к минимальным кожно-фокусным расстояниям, использованием необходимой номенклатуры средств радиационной защиты персонала. Управление таким аппаратом должно проводиться с выносного пульта управления. При отсутствии стационарных и передвижных средств защиты пульт управления должен быть установлен на расстоянии не менее 2,5 м от рентгеновского излучателя. Данные требования без исключений распространяются и на переносные аппараты, эксплуатируемые бригадами скорой помощи и Всероссийской службы медицины катастроф.

В СанПиН 2.6.4115-25 определена необходимость проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы проектной документации на размещение рентгеновских кабинетов (п. 175). Наличие санитарно-эпидемиологической экспертизы гарантирует на стадии разработки проектной документации соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям принятых решений по методам, способам и характеру радиационной защиты персонала, пациентов или населения. Это исключает необоснованные затраты хозяйствующих субъектов и увеличение сроков на стадии приемки кабинетов в эксплуатацию в тех случаях, если в проектной документации будут приняты ошибочные проектные решения по радиационной защите и обеспечению требований радиационной безопасности.

Разработка проектной документации необходима, в том числе, и для передвижных и/или переносных рентгеновских аппаратов. В данном случае проектом определяются помещения хранения и использования передвижных и/или переносных рентгеновских аппаратов, а также требования к обеспечению радиационной безопасности персонала, пациентов и населения, с учетом характера его использования, специфики объекта и оборудования.

Общие требования к размещению рентгеновских аппаратов и кабинетов были значительно смягчены:

– исключены обязательные требования о недопустимости размещения рентгеновских кабинетов под помещениями, откуда возможно протекание воды через перекрытие (п. 3.4 СанПиН 2.6.1.1192-03);

– появилась возможность корректировать площади помещения процедурной в зависимости от конкретного проектного решения с сохранением минимальных размеров технологических проходов и расстояний от рентгеновского оборудования и рабочих мест персонала до стен помещения (п. 170 СанПиН 2.6.4115-25);

– конкретизированы требования к площади помещения процедурной при размещении в ней более одного рентгеновского аппарата: в соответствии с п. 171 площадь процедурной для аппарата с максимальной площадью должна быть увеличена на 50 % от площади процедурной для дополнительного аппарата (аппаратов);

– исключен запрет на размещение рентгеновских кабинетов в подвальных помещениях.

Требования к площадям рентгеновских кабинетов, представленные в СанПиН 2.6.4115-25, в целом соответствуют международной практике [18-22], различия не превышают ± 20 %.

В соответствии с п. 186 СанПиН 2.6.4115-25 расширена номенклатура рентгеновских аппаратов, для которых возможно размещение пульта управления непосредственно в процедурной. К ним добавлен весь спектр рентгеновских аппаратов и компьютерных томографов, которые могут быть использованы при проведении интервенционных процедур.

Был существенно сокращён список документов, необходимых для эксплуатации рентгеновского аппарата в рентгеновском кабинете, в том числе и для ввода рентгеновского кабинета в эксплуатацию (приложение 3 к СанПиН 2.6.4115-25). В этом списке остались: проектная документация на размещение ИИИ; эксплуатационная документация на рентгеновский аппарат; документы, подтверждающие соответствие условий эксплуатации оборудования требованиям санитарных правил (протоколы и акты измерений); программа производственного радиационного контроля, и документы по учету доз облучения персонала и пациентов.

Ряд изменений коснулся требований к расчёту стационарной защиты в рентгеновских кабинетах (приложения 4 и 5 к СанПиН 2.6.4115-25). Так, таблица с допустимыми мощностями эффективных доз (ДМЭД) из СанПиН 2.6.1.1192-03 (таблица 4.2) была дополнена требованиями к ДМЭД в смежных с процедурной рентгеновского кабинета по вертикали и горизонтали помещениях с постоянными рабочими местами лиц из категории населения, принадлежащих сторонней организации. Все значения ДМЭД были скорректированы в соответствии с основными пределами доз для соответствующей категории лиц (например, ДМЭД для смежных с процедурной помещений без постоянных рабочих мест в СанПиН 2.6.1.1192-03 была рассчитана для категории персонала группы Б, а не для населения). Также в п. 202 СанПиН 2.6.4115-25 установлены отдельные требования к мощности эффективной дозы рентгеновского излучения, приведенной к номинальной рабочей нагрузке рентгеновского аппарата на наружных стенах передвижного рентгеновского кабинета, размещенного на транспортном средстве: она не должна превышать 2,5 мкЗв/ч. Тем самым обеспечивается дифференцированный подход к расчету защиты и интерпретации результатов радиационного контроля для данной категории использования рентгеновских аппаратов.

Таблица с номинальными значениями рабочей нагрузки и анодного напряжения, использующимися в качестве исходных данных для расчёта стационарной защиты, были дополнены с учётом новых видов рентгеновской техники. Представлены данные по рабочим нагрузкам для конусно-лучевых компьютерных томографов, использующихся, в том числе, и в стоматологической практике. Существенно изменились номинальные значения рабочей нагрузки для компьютерных томографов: они были увеличены до 7000 (мА·мин)/в неделю (2000 (мА·мин)/в неделю – для аппаратов с менее чем 8 линейками детекторов). Эти значения были получены по результатам анализа отечественных и международных публикаций [6] и были верифицированы в ходе экспериментальных работ, выполненных специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева.

Расчет защиты для двух или более медицинских рентгеновских аппаратов одного или различного назначения, установленных в одной процедурной, должен проводиться, исходя из суммарной рабочей нагрузки всех аппаратов.

Требования к обеспечению радиационной защиты пациентов и персонала, в том числе к радиационному контролю

Требования к обеспечению радиационной защиты персонала не претерпели значительных изменений по сравнению с требованиями СанПиН 2.6.1.1192-03 и ОСПОРБ 99/2010. Единственным изменением является обязательное отнесение всех категорий медицинского персонала, задействованных при проведении интервенционных (рентгенохирургических) процедур, к персоналу группы А (в СанПиН 2.6.1.1192-03 хирургов, урологов, ассистентов хирурга, травматологов и др. относили к персоналу группы Б). Данное изменение объективно отражает уровни облучения данных категорий персонала и было предложено Министерством здравоохранения Российской Федерации. Отдельно определена необходимость контроля эквивалентной дозы в хрусталиках глаз и кистях рук для медицинского персонала, проводящего интервенционные рентгенологические исследования.

Значительное внимание было уделено актуализации номенклатуры средств индивидуальной защиты (СИЗ) пациентов и персонала для различных видов рентгеновской диагностики (п. 179 СанПиН 2.6.4115-25 и приложения 6 и 7 к правилам). Номенклатур СИЗ была гармонизирована с рекомендациями МАГАТЭ. Следует отметить, что в соответствии с современными подходами к обеспечению радиационной защиты пациентов при проведении компьютерной томографии, требования к применению СИЗ для пациентов для данного метода диагностики были исключены. В кабинетах компьютерной томографии СИЗ должны использоваться для защиты персонала. Допускается, но не является обязательным требованием в соответствии с СанПиН 2.6.4115-25, применение СИЗ для пациентов с повышенной радиотревожностью по просьбе пациента, при этом СИЗ не должны попадать в область сканирования, так как это приведет к увеличению дозы, а защищаемым анатомическим областям должна быть обеспечена защита на 360°. Для медицинских работников, осуществляющих проведение интервенционных рентгенологических процедур, использование средств радиационной защиты органов зрения является обязательным (п. 212 СанПиН 2.6.4115-25).

Значительные изменения в СанПиН 2.6.4115-25 коснулись обеспечения радиационной безопасности пациентов. Требования к регистрации, контролю и учету доз облучения пациентов максимально гармонизированы с международными регулирующими документами [1] в том виде, насколько это возможно в рамках действующей в Российской Федерации системы обеспечения радиационной безопасности при медицинском облучении. Впервые в отечественных санитарных правилах конкретизированы требования к регистрации различных дозовых характеристик (показателей) при проведении рентгенорадиологических процедур, а также к контролю доз облучения пациентов, направленному на выявление случаев аномально высокого облучения (переоблучения) и/или развития детерминированных эффектов (приложение 11 СанПиН 2.6.4115-25). Также впервые было введено требование к установлению референтных диагностических уровней (РДУ) и их использованию в рамках контроля доз облучения пациентов. Детализация процесса установления и применения РДУ для оптимизации радиационной защиты пациентов представлена в методических рекомендациях МР 2.6.1.0296-22[13]. Требования, устанавливаемые пп. 205-206 и приложением 11 СанПиН 2.6.4115-25, являются едиными для всего оборудования и процедур рентгеновской диагностики и терапии, что также до настоящего момента в отечественной практике не было реализовано. Дополнительно следует отметить исключение необоснованных требований к оценке эффективных доз при проведении терапевтических рентгенорадиологических процедур.

Актуализированные подходы к регистрации и контролю доз облучения пациентов позволяют повысить достоверность дозиметрии пациентов и оценки уровней облучения пациентов при проведения рентгенорадиологических процедур. При этом п. 205 СанПиН 2.6.4115-25 допускает использование специализированного программного обеспечения в рамках регистрации индивидуальных доз облучения (дозовых характеристик) пациентов. Адекватная оценка технических характеристик такого программного обеспечения рентгеновской техники должна проводиться при государственной регистрации изделий медицинской техники.

Принципиально новым является установление единых требований к проведению радиационного контроля для всех медицинских ИИИ (приложение 12 СанПиН 2.6.4115-25), а также дифференцированных требований к контролю эксплуатационных параметров (КЭП) для различных типов рентгеновских аппаратов (приложение 10 СанПиН 2.6.4115-25). Следует отметить, что в СанПиН 2.6.1.1192-03 перечень эксплуатационных параметров медицинского рентгеновского оборудования, подлежащих контролю (приложение 10), был представлен только для рентгенографических и рентгеноскопических аппаратов. Приложение 10 СанПиН 2.6.4115-25 распространяется как на периодический, так и на текущий контроль КЭП рентгеновских аппаратов и компьютерных томографов. Отдельно выделен контроль наличия средств измерения доз облучения пациентов для аппаратов для проведения рентгеноскопических и интервенционных процедур, для которых в соответствии с п. 206 СанПиН 2.6.4115-25 наличие таких средств является обязательным.

Из требований к радиационному контролю исключен контроль нерадиационных факторов, но при этом увеличена частота проведения КЭП оборудования для лучевой диагностики и терапии до 1 раза в год. В СанПиН 2.6.1.1192-03 частота проведения обязательного КЭП оборудования была представлена только для оборудования со сроком эксплуатации выше 10 лет: не реже 1 раза в два года. Проведение КЭП 1 раз в год гармонизировано с требованиями ГОСТ Р 56606—2015[14] по частоте проведения контроля технического состояния медицинских изделий.

---

[13] Методические рекомендации МР 2.6.1.0296-22 «Оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике посредством применения референтных диагностических уровней» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 29 июля 2022 г.) [Methodological Recommendations MR 2.6.1.0296-22 “Optimization of Radiation Protection of Patients in Radiological Diagnostics by Means of the Application of Diagnostic Reference Levels” (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Rospotrebnadzor) on 29 July 2022) (In Russ.)]

[14] Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 56606-2015 «Контроль технического состояния и функционирования медицинских изделий. Основные положения» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 октября 2015 г. N 1451-ст) [National Standard of the Russian Federation GOST R 56606-2015 “Control of the Technical Condition and Functioning of Medical Devices. General Provisions” (approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 5 October 2015 No. 1451-st) (In Russ.)]

Заключение

Основной целью введенного в действие 01 сентября 2025 года СанПиН 2.6.4115-25 является установление минимально необходимого набора требований, соблюдение которых позволит обеспечить радиационную защиту пациентов, персонала и населения на социально приемлемом уровне и исключения правового вакуума при реализации положений «регуляторной гильотины» в отношении требований радиационной безопасности. Определенный консерватизм в действующих обязательных требованиях обуславливается недостаточным уровнем культуры радиационной безопасности на объектах использования ИИИ, в том числе и медицинских. Представленный в СанПиН 2.6.4115-25 набор обязательных требований при их соблюдении гарантирует обеспечение радиационной безопасности населения Российской Федерации путём непревышения основных пределов доз для персонала и населения и исключения случаев избыточного необоснованного облучения пациентов.

Следует отметить, что разработка СанПиН 2.6.4115-25 происходила с целью актуализации действующих СанПиН 2.6.1.1192-03 и СанПиН 2.6.1.2891-11. Задачи по кардинальной переработке данных документов или же безоглядной гармонизации с требованиями регулирующих международных документов не ставились. Существенные изменения в формат СанПиН и объёме обязательных требований можно будет вносить только после утверждения гармонизированных с международными требованиями изменений к Федеральному закону № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Водоватов А.В. – формулирование идеи статьи, оформление логической структуры, исследованием, определение цели, анализ и интерпретация материалов статьи.

Горский Г.А. – анализ материалов статьи, редактирование текста статьи.

Чипига Л.А. – формулирование идеи статьи, написание текста, научное руководство, анализ и интерпретация материалов статьи.

Шацкий И.Г. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Дружинина П.С. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Лихачева А.В. – анализ и интерпретация материалов статьи, оформление логической структуры.

Вишнякова Н.М. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna, 2014. 518 p.
2. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Оценка значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 2. С. 6-10.
3. Голиков В.Ю. О необходимой толщине стационарной защиты в рентгеновских стоматологических кабинетах // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 46-52. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-46-52.
4. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Критический анализ и предложения по совершенствованию существующей системы радиационного контроля в рентгеновских кабинетах // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 39-47. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47.
5. Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я. Некоторые аспекты радиационной защиты в отделениях радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2021.Т. 14, № 1. С. 75-85. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-75-85.
6. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Голиков В.Ю. и др. Совершенствование подхода к расчету стационарной радиационной защиты в кабинетах компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 64-75. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-64-75.
7. Водоватов А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 1. С. 47-55. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55.
8. Романович И.К., Водоватов А.В., Библин А.М., Кормановская Т.А. К проблеме совершенствования законодательного и нормативного обеспечения радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 88-95. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-88-95.
9. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Рыжов С.А., Петрякова А.В., Библин А.М., Горский Г.А. Радиационные аварии в лучевой и радионуклидной диагностике и терапии: сравнение российских и международных подходов к терминологии и классификации // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 1. С. 97-110. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-97-110.
10. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А. и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
11. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрякова А.В. и др. Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины // Радиационная гигиена. 2022.Т. 15, № 4. С. 34-44. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44.
12. Чипига Л.А., Звонова Н.А., Водоватов А.В. и др. Совершенствование подхода к определению радиологических критериев выписки пациентов после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 19-31. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31.
13. Чипига Л.А., Рыжов С.А., Водоватов А.В. и др. Проблемы обращения с биологическими отходами пациентов в радионуклидной диагностике // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 29-38. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-29-38.
14. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Рыжов С.А. и др. Предложения по изменению подходов к реагированию на нештатные ситуации при медицинском облучении пациентов в рамках актуализации санитарно-эпидемиологического законодательства // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 4. С. 96-107. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-96-107.
15. Водоватов А.В., Романович И.К., Алехнович А.В. и др. Обеспечение радиационной безопасности пациентов в Российской Федерации при диагностическом медицинском облучении: текущее состояние, проблемы и решения // Медицинская физика. 2024. № 4. С. 33-49. DOI 10.52775/1810-200X-2024-104-4-33-49.
16. Водоватов А.В., Гольченко О.А., Мащенко И.А. и др. Оценка поглощённых доз в плоде у беременных при компьютерной томографии: систематический обзор // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 2. С. 170-184. – DOI 10.17816/DD472150.
17. Балтрукова Т.Б. Воронкова С.В., Водоватов А.В. Актуальные проблемы обеспечения радиационной безопасности при проведении рентгеностоматологических исследований

// Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 111-119. DOI 10.21514/1998-426X-2022-15-1-111-119.

18. The design of diagnostic medical facilities where ionizing radiation is used. A code of practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland. Ireland, Dublin, 2009. 108 p.
19. Chinese Medicine Hospital - Schedule of Accommodation. Онлайн-ресурс URL: https://www.healthbureau.gov.hk/en/press_and_publications/otherinfo/200900_cmhp/index.html (Дата обращения: 14.07.2025)
20. Health Building Note 6: Volume 1, Facilities for Diagnostic Imaging and Interventional Radiology. Онлайн-ресурс. URL: https://www.england.nhs.uk/publication/designing-facilities-for-diagnostic-imaging-hbn-6/ (Дата обращения: 14.07.2025)
21. Australasian Health Facility Guidelines. Part B: Health Facility Briefing and Planning. Revision: 6.0 Онлайн-ресурс. URL: https://healthfacilityguidelines.com.au/part/part-b-health-facility-briefing-and-planning-0 (Дата обращения: 14.07.2025)
22. International Health Facility Guidelines. Health Facility Briefing and Design. Medical Imaging Unit – General. Онлайн-ресурс. URL: ttps://www.healthfacilityguidelines.com/GuidelineIndex/Index/Health-Facility-Briefing-and-Design (Дата обращения: 14.07.2025).

Поступила: 30.07.2025

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

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Горский Григорий Анатольевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-7310-9718

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Шацкий Илья Геннадьевич – 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

ORCID: 0000-0003-2809-0223

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

ORCID: 0000-0003-2921-067X

Лихачева Анастасия Валерьевна – 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; инженер по радиационной безопасности СПб ГБУЗ «Городская больница №40», Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-2663-9091

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

ORCID: 0000-0001-7165-4923

Для цитирования: Водоватов А.В., Горский Г.А., Чипига Л.А., Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Лихачева А.В., Вишнякова Н.М. Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 85–94. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-85-94

Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in X-ray diagnostics and therapy

Aleksandr V. Vodovatov[1,2], Grigory A. Gorsky[1,3], Larisa A. Chipiga[1,4,5], Anastasia V. Likhacheva[1,6], Ilya G. Shatsky[1], Polina S. Druzhinina[1], Nadezhda M. Vishnyakova[1,3]

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

[2] Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

[3] North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

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

[5] Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

[6] The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint Petersburg, Russia

Starting from September 1, 2025, SanPiN 2.6.4115-25 came into force. This is a comprehensive document that establishes requirements for ensuring radiation safety when working with a specific list of ionizing radiation sources, including those used in X-ray diagnostics and therapy. As a result, several regulatory legal acts in the field of radiation safety will be repealed, including SanPiN 2.6.1.1192-03 and SanPiN 2.6.1.2891-11. SanPiN 2.6.4115-25 introduces a number of new as well as revised and updated requirements for ensuring radiation safety in the operation of ionizing radiation-generating equipment used in medical practice. This paper presents analysis of the changes and additions introduced in SanPiN 2.6.4115-25 in comparison with the documents that should be repealed starting from September 1, 2025, which previously regulated radiation safety requirements for X-ray diagnostics and therapy. Conclusion: The work presents the background for revising the sanitary rules and standards and provides recommendations for improving the regulation of radiation protection in medical exposure.

Key words: *radiation safety, radiation hygiene, sanitary norms and rules, X-ray diagnostics, X-ray therapy.*

Authors' personal contribution

Vodovatov A.V. – formulation of the idea of the article, design of the logical structure, research, determination of the purpose, analysis and interpretation of the materials of the article.

Gorsky G.A. – analyzing the manuscript, editing the text of the article.

Chipiga L.A. – formulation of the idea of the article, writing the text, scientific guidance, analysis and interpretation of the article materials.

Shatsky I.G. – analyzing and interpreting the materials of the article.

Druzhinina P.S. – analysis and interpretation of the materials of the article.

Likhacheva A.V. – analyzing and interpreting the materials of the article, design of the logical structure.

Vishnyakova N.M. – analysis and interpretation of the materials of the article.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

The work was performed without any source of funding.

References

1. IAEA Safety Standards Series. No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. STI/PUB/1578. IAEA: Vienna; 2014. 518 p.
2. Golikov VYu, Vodovatov AV. Estimation of an X-ray machine's workload during routine radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(2): 6-10. (In Russian).
3. Golikov VYu. About the necessary thickness of stationary shield in X-ray dental rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 46-52. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-46-52
4. Golikov VYu, Vodovatov AV. Critical analysis and suggestions to improve the existing system of radiation control in X-ray rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(2): 39-47. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-39-47
5. Golikov VYu, Chipiga LA, Vodovatov AV, Smolyarchuk MYa. Some aspects of radiation protection in radionuclide therapy departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 75-85. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-75-85
6. Druzhinina PS, Chipiga LA, Golikov VYu, Vodovatov AV, Bazhin SYu, Shleenkova EN, et al. Improving the approach to calculating shielding in computed tomography rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 64-75. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-64-75
7. Vodovatov AV. Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 47-55. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55
8. Romanovich IK, Vodovatov AV, Biblin AM, Kormanovskaya TA. On the issue of the development of legislative and regulatory provision of the radiation safety of the public. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 88-95. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-88-95
9. Vodovatov AV, Chipiga LA, Ryzhov SA, Petryakova AV, Biblin AM, Gorsky GA. Radiation accidents in X-ray and radionuclide diagnostics and therapy: comparison of Russian and international approaches to the terminology and classification. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(1): 97-110. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-97-110
10. Chipiga LA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Petryakova AV, Anokina EE, et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(2): 19-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30
11. Chipiga LA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Maistrenko DN, et al. Justification of differential approach to management of patient biological

waste in nuclear medicine departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 34-44. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44

12. Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, et al. Improvement of the approach to definition of patient release criteria after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 19-31. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31
13. Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, et al. Problems of management of patient biological waste in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(3): 29-38. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-29-38
14. Vodovatov AV, Chipiga LA, Ryzhov SA, Likhacheva AV, Biblin AM, Gorsky GA, et al. Suggestions for amendments to responding approaches to events in medical exposure of patients within the updating sanitary and epidemiological legislation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(4): 96-107. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-96-107
15. Vodovatov AV, Romanovich IK, Alekhnovich AV, Biblin AM. Radiation Safety of Patients in Diagnostic Radiology in the Russian Federation: Current Status, Problems and Solutions. *Meditsinskaya Fizika = Medical Physics*. 2024;4: 33-49. (In Russian). DOI 10.52775/1810-200X-2024-104-4-33-49
16. Vodovatov AV, Golchenko OA, Mashchenko IA, Alekseeva DV. Evaluation of fetal absorbed doses from computed tomography examinations of pregnant patients: A systematic review. *Digital Diagnostics*. 2023:2(4): 170-184. (In Russian). DOI 10.17816/DD472150
17. Baltrukova TB, Voronkova SV, Vodovatov AV. Topical issues of the provision of the radiation safety for dental X-ray examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 111-119. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-111-119
18. The design of diagnostic medical facilities where ionizing radiation is used. A code of practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland. Ireland, Dublin; 2009. 108 p.
19. Chinese Medicine Hospital - Schedule of Accommodation. Available from: https://www.healthbureau.gov.hk/en/press_and_publications/otherinfo/200900_cmhp/index.html [Accessed 14.07.2025].
20. Health Building Note 6: Volume 1, Facilities for Diagnostic Imaging and Interventional Radiology. Available from: https://www.england.nhs.uk/publication/designing-facilities-for-diagnostic-imaging-hbn-6/ [Accessed 14.07.2025].
21. Australasian Health Facility Guidelines. Part B: Health Facility Briefing and Planning. Revision: 6.0 Available from: https://healthfacilityguidelines.com.au/part/part-b-health-facility-briefing-and-planning-0 [Accessed 14.07.2025].
22. International Health Facility Guidelines. Health Facility Briefing and Design. Medical Imaging Unit – General. Available from: https://www.healthfacilityguidelines.com/GuidelineIndex/Index/Health-Facility-Briefing-and-Design [Accessed 14.07.2025].

Received: July 30, 2025

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (8, Mira Str., Saint Petersburg,, 197101, Russia; E-mail: vodovatoff@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Grigory A. Gorsky – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director of Innovation Work, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; Associate Professor, Department of Hygiene of Conditions of Education, Training, Work and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-7310-9718

Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Research Fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; Docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Ilya G. Shatsky – Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2809-0223

Polina S. Druzhinina – Junior Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2921-067X

Anastasia V. Likhacheva – Junior Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Radiation Safety Engineer, Saint Petersburg City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2663-9091

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

ORCID: 0000-0001-7165-4923

For citation: Vodovatov A.V., Gorsky G.A., Chipiga L.A., Likhacheva A.V., Shatsky I.G., Druzhinina P.S., Vishnyakova N.M. Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in X-ray diagnostics and therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 85–94. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-85-94

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-95-104
УДК: 614.876:615.849

Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики и терапии

Чипига Л.А.[1,2,3], Горский Г.А.[1,4], Водоватов А.В.[1,5], Лихачева А.В.[1,6], Шацкий И.Г.[1], Дружинина П.С.[1], Вишнякова Н.М.[1,4]

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

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

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

[4] Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

[5] Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

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

Действовавшие до 1 сентября 2025 года нормативные правовые акты Роспотребнадзора, устанавливающие обязательные требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении процедур радионуклидной диагностики и терапии, за более чем 15-летний период их применения значительно устарели и не учитывали используемые в настоящее время технологии и радионуклиды. Развитие технологий ядерной медицины и внедрение все большего спектра терапевтических радиофармацевтических лекарственных препаратов привело к очевидной необходимости актуализации требований к проведению процедур, к выписке пациентов и к обращению с отходами при проведении процедур радионуклидной терапии, а также учета современной практики организации подразделений для проведения радионуклидной терапии на базе подразделений радионуклидной диагностики. Цель работы – представление изменений и нововведений в СанПиН 2.6.4115-25 относительно утративших силу с 01.09.2025 г. нормативных правовых актов (СанПиН 2.6.1.2368-08 и СанПиН 2.6.1.3288-15), устанавливающих требования к радиационной безопасности при проведении процедур ядерной медицины. Материалы и методы: Сравнительный анализ текстов СанПиН 2.6.4115-25, СанПиН 2.6.1.2368-08 и СанПиН 2.6.1.3288-15. Результаты и их обсуждение: Реализованные в СанПиН 2.6.4115-25 требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении процедур ядерной медицины позволили решить две важные научно-практические задачи: учесть специфику современных методов ядерной медицины и устранить ряд противоречий между действующими нормативными правовыми актами Роспотребнадзора. Заключение: СанПиН 2.6.4115-25 гармонизирован с международными регулирующими документами и в достаточной мере содержит требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной терапии с акцентом на обеспечение радиационной защиты населения.

Ключевые слова: *радиационная безопасность, радиационная гигиена, санитарные нормы и правила, ядерная медицина, радионуклидная диагностика, радионуклидная терапия.*

Введение

С 1 сентября 2025 года вступил в силу СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения»[1], частью которого являются требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении процедур ядерной медицины. Требования исторически разрабатывались в разное время для разных видов радионуклидной

[1] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 27.03.2025 N 6 «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил и норм СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения» (Зарегистрировано в Минюсте России 21.04.2025 N 81916) [Resolution of the Chief State Sanitary Physician of the Russian Federation dated 27 March 2025 No. 6 "On Approval of the Sanitary and Epidemiological Rules and Norms SanPiN 2.6.4115-25 'Sanitary and Epidemiological Requirements in the Field of Radiation Safety of the Population in the Use and Handling of Sources of Ionizing Radiation'" (registered by the Ministry of Justice of Russia on 21 April 2025, registration No. 81916) (In Russ.)]

Чипига Лариса Александровна
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E mail: larisa.chipiga@gmail.com

диагностики (РНД) и терапии (РНТ): требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении процедур РНТ содержатся в СанПиН 2.6.1.2368-08[2], утвержденных в 2008 г.; при проведении процедур РНД – в МУ 2.6.1.1892-04[3], утвержденных в 2004 г. Эти документы были разработаны для ограниченного набора радионуклидов, применяемых в медицинской практике в 2000-х годах, и вступили в действие еще до утверждения НРБ-99/2009[4] и ОСПОРБ-99/2010[5]. В 2015 году были разработаны и утверждены санитарные правила и нормы для позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) – СанПиН 2.6.1.3288-15[6]. Дублирование или противоречия установленных в нормативных правовых актах (НПА) требований (например, подходов к выписке пациентов после процедур РНТ в СанПиН 2.6.1.2368-08 и НРБ-99/2009) создавали определенные противоречия и проблемы при применении их на практике. Некоторые положения устарели и не учитывали применяемые в настоящее время технологии и радионуклиды.

Необходимость актуализации требований к проведению процедур РНТ, к выписке пациентов после РНТ, а также к обращению с отходами обусловлена развитием технологий ядерной медицины и внедрением все большего спектра терапевтических радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП). Необходимо учитывать современную практику организации подразделений для проведения РНТ на базе подразделений РНД. Поэтому представляется целесообразным разрабатывать единые требования по обеспечения радиационной безопасности для подразделений ядерной медицины, не разделяя диагностические и терапевтические процедуры [2].

В связи с этим при разработке главы XI СанПиН 2.6.4115-25 основной акцент был сделан на создание единых требований к обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и пациентов при проведении процедур ядерной медицины (РНД и РНТ). Новый СанПиН содержит ряд переработанных и актуализированных требований к обеспечению радиационной безопасности. При разработке из текста СанПиН 2.6.4115-25 были исключены перекрестные и дублирующие положения продолжающих действовать НПА в области радиационной безопасности: НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010.

Цель исследования – представление изменений и нововведений в СанПиН 2.6.4115-25 относительно утративших силу с 01.09.2025 НПА (СанПиН 2.6.1.2368-08 и СанПиН 2.6.1.3288-15), устанавливающих требования к радиационной безопасности при проведении процедур ядерной медицины.

Основные положения, исключенные из действующих требований

В дополнение к основным исключенным положениям в СанПиН 2.6.4115-25 относительно действовавших НПА, которые представлены в работе Водоватова А.В. и др. [1], был исключен раздел, посвященный обеспечению качества, присутствовавший в СанПиН 2.6.1.3288-15. Требование к оптимизации радиационной защиты при проведении диагностических и терапевтических процедур путем обеспечения качества сохраняется в пп. 4.8-4.9 ОСПОРБ-99/2010 и реализовывается на практике согласно МУК 2.6.7.3651-20[7], МУК 2.6.7.3652-20[8] и методическим рекомендациям профессиональных сообществ [3]. Понятие «обеспечение качества» должно быть внедрено в рамках переработки и гармонизации Федерального закона № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»[9] и расширено в предполагаемом к переработке ОСПОРБ-99/2010. Кроме того, удалена вся справочная информация о физических характеристиках радионуклидов, формах актов, протоколов, справок, журналов и т.д., которые были избыточными или являлись требованиями к формам ведения медицинской документации.

Анализ изменений и дополнений в обязательные требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики и терапии

Требования к размещению

Согласно п. 219 СанПиН 2.6.4115-25 вновь проектируемые подразделения ядерной медицины должны разме-

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

[3] МУ 2.6.1.1892-04 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов» [Guidelines 2.6.1.1892-04. Hygiene requirements for ensuring radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals (In Russ.)].

[4] СанПиН 2.6.1.2523-09. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. [Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009 (In Russ.)].

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

[6] СанПиН 2.6.1.3288-15. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии. М.: Роспотребнадзор, 2015. 59 с. [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.3288-15. Hygienic requirements for radiation safety during positron emission tomography. Moscow: Rospotrebnadzor; 2015. 59 p. (In Russ.)]

[7] МУК 2.6.7.3651-20 «Методы контроля качества в ПЭТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2020 [MUK 2.6.7.3651-20 “Quality control methods in PET diagnostics for optimization of radiation protection”. Rospotrebnadzor, 2020 (In Russ.)]

[8] МУК 2.6.7.3652-20 «Методы контроля качества в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2020 [MUK 2.6.7.3652-20 “Quality control methods in CT diagnostics for optimization of radiation protection”. Rospotrebnadzor, 2020 (In Russ.)]

[9] Федеральный портал проектов нормативных правовых актов. Проект федерального закона «О внесении изменений в Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». URL: https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=101773 [Federal portal of draft regulatory legal acts. Draft federal law "On Amendments to the Federal Law of 09.01.1996 No. 3-FZ "On Radiation Safety of the Population". URL: https://regulation.gov.ru/Regulation/Npa/PublicView?npaID=101773 (In Russ.)

щаться на цокольном, первом и втором этажах зданий. Обязательным требованием в соответствии с пп. 221-222 является расположение всех помещений контролируемой зоны подразделения ядерной медицины отдельными блоками в зависимости от назначения помещений, условий и характера выполняемых в них работ. В случае применения в практике методик, подразумевающих введение РФЛП под контролем методов медицинской визуализации, например, введение ^{90}Y-микросфер, рентгеноперационная, в которой проводится процедура, должна входить в состав контролируемой зоны подразделения ядерной медицины.

Номенклатура помещений, входящих в состав подразделения ядерной медицины, изменилась незначительно (п. 236 и приложение № 14 СанПиН 2.6.4115-25). Так, для некоторых помещений изменились минимальные значения площадей, например, минимальная площадь помещения для приемки и распаковки радионуклидных источников ионизирующего излучения (ИИИ) блока радионуклидного обеспечения сократилось с 10 м^2 в СанПиН 2.6.1.2368-08 до 5 м^2; минимальная площадь фасовочной РФЛП – с 20 м^2 в СанПиН 2.6.1.2368-08 и 15 м^2 в СанПиН 2.6.1.3288-15 до 10 м^2 и т.д. Из номенклатуры помещений для блока стационарного пребывания пациентов с введенным РФЛП для радионуклидной терапии исключена станция спецочистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) площадью не менее 400 м^2; вместо нее введено понятие помещения сбора и выдержки на распад ЖРО, которое должно быть площадью не менее 35 м^2. Кроме того, исключены такие помещения как «мастерская», «буфетная (со шлюзом)», «моечная посуды для больных», а также помещения неконтролируемой зоны.

Если ранее номенклатура и минимальные площади помещений носили рекомендательный характер, то в новом СанПиН они являются обязательными. Площади помещений подразделения ядерной медицины, уставленные в СанПиН 2.6.4115-25, гармонизированы и соответствуют международным стандартам [4–8]. При проектировании и конструировании процедурных и пультовых под размещение гибридных аппаратов (ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ) площади этих помещений могут быть скорректированы в соответствии с требованиями для рентгеновского оборудования согласно п. 170 СанПиН 2.6.4115-25. Применение консервативных требований к площадям помещений позволяет проводить замену устаревшего оборудования без принципиальных изменений проектных решений и реконструкции помещений, а также дает возможность использовать различные технологии ядерной медицины в одних и тех же помещениях. В целом, акцент перенесен на возможность более эффективного обоснования площади необходимых помещений в проектную документацию на размещение подразделения ядерной медицины с учетом расчетов радиационной защиты и специфики выполняемых работ.

Согласно п. 230 во вновь проектируемых и конструируемых подразделениях ядерной медицины фасовочная РФЛП и процедурные введения РФЛП должны быть смежными и соединяться передаточными окнами. При этом допускается совмещение процедурной введения РФЛП пациенту и фасовочной РФЛП, если установлена система для дозирования и введения РФЛП пациентам и площадь помещения составляет не менее 15 м^2.

В связи с практикой проведения процедур РНТ в режиме дневного стационара на базе подразделений РНД, в СанПиН 2.6.4115-25 такая возможность предусмотрена при соблюдении четко сформулированных требований радиационной безопасности. Согласно п. 266 допускается проведение РНТ в подразделениях РНД при: разделении потоков пациентов, проходящих РНД и пациентов, проходящих РНТ; разделении рабочих мест персонала при фасовке РФЛП для РНД и РНТ; наличии отдельных помещений для введения РФЛП и отдельного санузла в помещении пребывания пациента с введенным РФЛП; наличии системы сбора и выдержки на распад биологических отходов пациентов в составе помещений подразделения.

Требования к радиационной безопасности при обращении с содержащими радионуклиды биологическими отходами пациентов

С учетом внедрения в практику новых радионуклидов и РФЛП на их основе для лечения пациентов, новых методик проведения РНТ с возможностью проведения процедур в условиях дневного стационара, в том числе и в подразделениях РНД, авторами работы была проведена научно-исследовательская работа (НИР) по оценке активности радионуклидов, которые выводятся из организма пациентов после введения применяемых и планируемых к применению РФЛП. НИР включала анализ литературы, международных и отечественных практик, построения моделей биовыведения РФЛП из организма пациентов, экспериментальных работ по отбору проб биологических выделений пациентов с целью верификации моделей, а также измерения активности радионуклидов в сточных водах медицинских организаций в разные этапы проведения процедур РНТ [9–13]. Исследование показало, что в настоящее время в международной практике отсутствует единый подход к обращению с биологическими отходами пациентов. Международные организации допускают возможность сброса подобных отходов в систему канализации без специального сбора и выдержки их на распад, однако отмечают необходимость согласовывать подход с национальными требованиями радиационной безопасности и обращения с радиоактивными отходами с учетом уровня радиационной обстановки в регионе и системы водопотребления [14-16]. В Российской Федерации применяются достаточно жесткие критерии отнесения жидких отходов к радиоактивным, поэтому работа по определению необходимости сбора и выдержки на распад отходов основывалась на отечественном законодательстве[10].

На основании выполненной работы была разработана схема по оценке необходимости сбора и выдержки отходов пациентов на распад в медицинской организации (МО) и в соответствии с ней переработаны требования к обращению с отходами пациентов после РНТ. Кроме того, в СанПиН

[10] СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). [Basic sanitary rules for radiation safety. Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10 (In Russ.)]; Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069) (далее - ПП 1069). [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 " On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, classifying radioactive waste as special radioactive waste and as radioactive waste to be disposed of criteria for classifying radioactive waste to be disposed of" (In Russ.)]

2.6.4115-25 введено определение «специальная канализация» — это автономная канализация для сбора и выдержки на распад ЖРО в баке-накопителе ниже предельного значения удельной активности радионуклидов (п. 265), в п. 266 введено понятие «система сбора и выдержки на распад биологических отходов пациента». К системе сбора и выдержки на распад биологических отходов пациента (моча и кал) могут быть отнесены специализированные биотуалеты со сменными баками или системой фильтрации [17, 18], баки небольшого объема, подключаемые напрямую к унитазам, и выдерживаемые на распад и др. Баки и фильтры должны выдерживаться на распад до снижения удельной активности радионуклидов в соответствии с требованиями, установленными к хранению РАО в соответствии с ОСПОРБ-99/2010 и ПП 1069.

В таблице 1 представлены требования к наличию системы специальной канализации в подразделениях ядерной медицины.

Таблица 1

Требования к наличию системы специальной канализации в подразделениях ядерной медицины

[Table 1

Requirements for the availability of a special sewage system in nuclear medicine departments]

Процедура ядерной медицины [Nuclear medicine procedures]		Наличие специальной канализации [Availability of a special sewage system]
РНТ при стационарном пребывании пациента [Radionuclide therapy on the inpatient basis]		Да [Yes]
РНТ в условиях дневного стационара [Radionuclide therapy on the outpatient basis]	с остеотропными РФЛП (^{223}Ra и ^{89}Sr) и/или другими РФЛП [with osteotropic radiopharmaceuticals (^{223}Ra and ^{89}Sr) or/and other radiopharmaceuticals]	Нет, однако требуется система сбора и выдержки на распад биологических отходов пациентов [No, but a system for the collection and decay storage of patients' biological waste is required]
	с остеотропными РФЛП (^{223}Ra и ^{89}Sr) [with osteotropic radiopharmaceuticals (^{223}Ra and ^{89}Sr)]	Нет [No]
РНД [radionuclide diagnostics]		Нет [No]

Согласно п. 267 СанПиН 2.6.4115-25, при РНТ с остеотропными РФЛП (^{223}Ra и ^{89}Sr) допускается работа без системы сбора и выдержки на распад биологических отходов пациентов, что связано с медленным выведением таких РФЛП через мочевыделительную систему и желудочно-кишечный тракт [10, 13]. Вместе с тем, обязательным требованием является проведение радиационного контроля сточных вод МО не реже 1 раза в год.

Выбор подхода к обращению с ЖРО от пациента при проведении РНТ согласно СанПиН 2.6.4115-25 должен быть обоснован и представлен в проектной документации, подлежащей санитарно-эпидемиологической экспертизе в установленном порядке.

Радиологические критерии выписки пациентов

Отсутствие специфических критериев выписки для применяемых в практике РФЛП тормозит их применение в МО и препятствует развитию отечественной ядерной медицины, ограничивает оказание полноценной онкологической помощи населению [19]. В настоящее время в международной практике нет единого подхода к выписке пациентов после РНТ, в большинстве стран радиологические критерии выписки пациентов ограничиваются РНТ с ^{131}I. Для популярного в настоящее время радионуклида ^{177}Lu радиологические критерии выписки пациентов в международных руководствах отсутствуют, однако существующая практика в странах Европы чаще всего требует госпитализации пациентов после радионуклидной терапии на 1–2 дня [19–21], а в Австралии, Канаде, Турции допускается лечение в режиме дневного стационара препаратами, меченными ^{177}Lu [21].

В СанПиН 2.6.4115-25 существенно расширен перечень радионуклидов, используемых в настоящее время и являющихся перспективными для лечения пациентов. Выбор радионуклидов был согласован и расширен при обсуждении проекта СанПиН 2.6.4115-25 с представителями МО и Минздрава России. На основании выполненной в ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева НИР, включающей разработку и моделирование сценариев облучения различных лиц из персонала и населения, которые могут облучиться от пациента после введения ему РФЛП, с учетом образования радиоактивных отходов, были актуализированы радиологические критерии выписки пациентов [9–13, 19, 22].

Выписка пациента после проведения РНТ в соответствии с п. 268 СанПиН 2.6.4115-25 осуществляется при условии, если пациенту введена активность радионуклида в РФЛП ниже указанной в таблице 2 приложения № 15 и (или) МАЭД на расстоянии 1 м от тела пациента ниже указанной в таблице 2 приложения № 15. При этом результаты НИР продемонстрировали отсутствие необходимости в снижении значений критериев выписки пациентов с увеличением числа введений РФЛП за курс терапии, как требовалось ранее в НРБ-99/2009 (таблица 5.1). Однако, пациенту обязательно должны быть выданы рекомендации по ограничению контактов, нахождению в общественных местах и передвижению в транспорте [23].

Стоит отметить, что для большинства радионуклидов установленные критерии выписки допускают проведение процедур РНТ в условиях дневного стационара, что позволяет МО увеличить количество пациентов, которым будет проведено лечение, и снизить его стоимость без снижения уровня радиационной безопасности населения и окружающих пациента лиц.

Таблица 2

Активность радионуклидов в теле взрослого пациента (ГБк) после РНТ или брахитерапии с постоянной имплантацией закрытых источников и мощность амбиентного эквивалента дозы (мкЗв/ч) на расстоянии 1 м от поверхности тела, при которых разрешается выписка пациента из медицинской организации (приложение №15 к СанПиН 2.6.4115-25)

[Table 2

Radionuclide activity in the body of an adult patient (GBq) after radionuclide therapy or brachytherapy with permanent implantation of sealed sources, and ambient dose equivalent rate (μSv/h) at a distance of 1 m from the body surface, at which patient release from a medical organization is permitted (Appendix No. 15 to SanPiN 2.6.4115-25)]

Радионуклид [Radionuclide]	Период полурас-пада, суток [Half-life, day]	МАЭД на расстоянии 1 м от тела пациента, мкЗв/ч [Ambient dose equivalent rate, μSv h^{-1}]	Активность в теле пациента, ГБк [Residual activity, GBq]
^{67}Cu	2,6	75	5,5
^{89}Sr	50,5	–	0,3
^{90}Y	2,7	–	5
^{117m}Sn	13,8	14	0,4
^{125}I	60,1	10	4
^{131}I	8,0	20	0,4
^{153}Sm	2,0	100	9
^{161}Tb	6,9	28	2,3
^{166}Ho	1,1	170	17
^{177}Lu	6,7	29	4,8
^{188}Re	0,7	80	12
^{212}Pb	0,4	430	4,5
^{213}Bi	0,03	–	18
^{223}Ra	11,4	17	0,01
^{224}Ra	3,7	50	0,6
^{225}Ac	10,0	19	0,3
^{227}Th	18,7	10	0,1

Требования к расчету стационарной защиты

Введены требования к расчету стационарной защиты при проектировании подразделений ядерной медицины (п. 227 и приложение № 13). Специфичным требованием для расчета стационарной защиты в подразделениях ядерной медицины является учет рабочей загруженности подразделения (число пациентов за год), типа выполняемых процедур, используемых радионуклидов, максимальной активности радионуклида на рабочем месте, времени нахождения персонала в рабочем помещении и продолжительности операции с радионуклидными ИИИ [24]. При расчете стационарной защиты в точке, где одновременно воздействуют несколько радионуклидных ИИИ, должно учитываться суммарное воздействие всех радионуклидных ИИИ, а также должны учитываться вклад излучения от всех радионуклидов в цепочке распада и тормозного излучения для бета-излучающих радионуклидов. При использовании гибридных технологий, совмещенных с использованием компьютерных томографов, необходимо учитывать значения проектной мощности дозы как от генерирующих, так и радионуклидных ИИИ.

Требования к радиационному контролю

В соответствии с п. 273 СанПиН 2.6.4115-25 радиационный контроль в подразделениях ядерной медицины должен проводиться в соответствии с требованиями к радиационному контролю при использовании медицинских ИИИ, включая контроль эксплуатационных параметров оборудования, содержащих генерирующие ИИИ, не реже 1 раза в год. Подробные комментарии к нововведениям и изменениям, в части, радиационного контроля представлены в работе Водоватова А.В. и др. [1]. Специфичным для подразделений ядерной медицины, где проводятся работы с открытыми ИИИ, является требование к ежедневному контролю уровней поверхностного радиоактивного загрязнения на рабочих местах персонала, рабочей одежды и кожи рук персонала. При проведении РНТ должны осуществляться контроль и регистрация поглощенных доз в органе-мишени (очаге) и радиочувствительных органах и тканях пациента (при наличии возможности получения данной информации путем проведения расчетов и измерений либо на основании инструкции, методических рекомендаций или указаний по медицинскому применению РФЛП). Кроме того, в подразделениях РНТ не реже 1 раза в год должен проводиться контроль удельной активности сточных вод системы водоотведения МО перед каждым сбросом системы сбора и выдержки на распад биологических отходов пациентов или системы специальной канализации. Также сохраняется необходимость контроля твердых радиоактивных отходов для перевода их из категории радиоактивных в соответствии с п. 3.12.13 ОСПОРБ-99/2010 и ПП 1069.

Результаты проведенных научных работ по определению доз у персонала подразделений ядерной медицины показали высокую вероятность получения высоких доз кистей рук у некоторых категорий персонала [25, 26]. В связи с этим, в рамках контроля и учета индивидуальных доз облучения персонала, проводящего манипуляции с РФЛП вручную при синтезе, контроле качества, фасовке и введении пациентам РФЛП, появилось требование контроля эквивалентной дозы в коже кистей рук (приложение № 12).

При проведении РНД должны проводиться контроль качества диагностического изображения и установление референтных диагностических уровней для отдельных видов исследований (п. 272 СанПиН 2.6.4115-25). Контроль качества диагностического изображения должен проводиться согласно технической документации для диагностического аппарата, а также МУК 2.6.7.3651-20, МУК 2.6.7.3652-20 и методическим рекомендациям [3, 27, 28]. Для установления референтных диагностических уровней при проведении диагностических исследований следует руководствоваться МР 2.6.1.0296-22[11].

Требования к отчетным формам

Глава XI СанПиН 2.6.4115-25 содержит требования к наличию и содержанию учетных и отчетных документов, однако, в соответствии с требованиями оформления НПА, исключены все возможные формы учетных и отчетных документов. Учетные документы могут оформляться как в письменном, так и в электронном виде согласно порядку ведения электронной документации в МО. При ведении учетных и отчетных документов при проведении процедур ядерной медицины должны также учитываться требования Ростехнадзора.

Оптимизация радиационной защиты персонала и пациентов

В главе XI (п. 240) СанПиН 2.6.4115-25 установлено требование к обязательному использованию средств индивидуальной защиты персонала при работах с радионуклидами с мягким гамма-излучением: ^{99m}Tc, ^{123}I, ^{177}Lu, ^{161}Tb, ^{227}Th, ^{212}Pb, ^{153}Sm, ^{166}Ho. Персонал должен использовать средства индивидуальной защиты (в том числе фартук и воротник) со свинцовым эквивалентом не ниже 0,35 мм.

Стоит отдельно отметить, что установлены требования не только к прекращению грудного вскармливания при прохождении РНТ, но и к прерыванию грудного вскармливания при прохождении некоторых процедур РНД (п. 270 СанПиН 2.6.4115-25). В приложении № 16 установлена длительность прекращения грудного вскармливания при типичных вводимых активностях диагностических РФЛП.

Заключение

Действующие санитарные правила и нормативы по обеспечению радиационной безопасности не обновлялись значительное время (более 15 лет для РНТ, более 20 лет для РНД) и не охватывали весь спектр методов и применяемых на практике радионуклидов и РФЛП для проведения процедур ядерной медицины, что обусловило внесения ряда изменений и дополнений в новый СанПиН. Реализованные в СанПиН 2.6.4115-25 требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении процедур ядерной медицины позволили решить две важные научно-практические задачи: учесть специфику современных методов ядерной медицины и устранить ряд противоречий между действующими НПА Роспотребнадзора. СанПиН 2.6.4115-25 максимально гармонизирован с международными регулирующими документами и в полной мере содержит требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении РНТ с акцентом на обеспечение радиационной защиты населения.

Принятая концепция разработки единых требований для подразделений ядерной медицины позволяет масштабировать их деятельность и внедрять новые технологии, методы диагностики и лечения пациентов в функционирующих подразделениях без снижения эффективности радиационной защиты и безопасности персонала, пациентов и населения.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – формулирование идеи статьи, написание текста, научное руководство, анализ и интерпретация материалов статьи.

Горский Г.А. – анализ и интерпретация материалов статьи, редактирование текста статьи.

Водоватов А.В. – формулирование идеи статьи, оформление логической структуры, исследованием, определение цели, анализ и интерпретация материалов статьи.

Лихачева А.В. – написание текста, анализ и интерпретация материалов статьи, оформление логической структуры.

Шацкий И.Г. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Дружинина П.С. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Вишнякова Н.М. – анализ и интерпретация материалов статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

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

Литература

1. Водоватов А.В., Горский Г.А., Чипига Л.А. и др. Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении рентгеновской диагностики и терапии // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 85-94. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-85-94.
2. Чипига Л.А., Козлова К.Н., Звонова И.А. и др. География и структура центров ядерной медицины на территории Российской Федерации по состоянию на 2025 год // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 124–135. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-124-135.
3. Обеспечение и контроль качества исследований в радионуклидной диагностике: Методические рекомендации. М.; СПб.: Издательство РХГА, 2023. 110 с.
4. The design of diagnostic medical facilities where ionizing radiation is used. A code of practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland. Ireland, Dublin, 2009. 108 p.
5. Chinese Medicine Hospital - Schedule of Accommodation. Онлайн-ресурс. URL: https://www.healthbureau.gov.hk/en/press_and_publications/otherinfo/200900_cmhp/index.html (Дата обращения: 14.07.2025).
6. Health Building Note 6: Volume 1, Facilities for Diagnostic Imaging and Interventional Radiology. URL: https://www.england.nhs.uk/publication/designing-facilities-for-diagnostic-imaging-hbn-6/ (Дата обращения: 14.07.2025)
7. Australasian Health Facility Guidelines. Part B: Health Facility Briefing and Planning. Revision: 6.0 URL:

[11] МР 2.6.1.0296-22 «Оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике посредством применения референтных диагностических уровней» [Guidelines MR 2.6.1.0296-22 “Optimization of Radiation Protection of Patients in Diagnostic Radiology through the Application of Reference Diagnostic Levels” (In Russ.)]

https://healthfacilityguidelines.com.au/part/part-b-health-facility-briefing-and-planning-0 (Дата обращения: 14.07.2025).
8. International Health Facility Guidelines. Health Facility Briefing and Design. Medical Imaging Unit – General. URL: https://www.healthfacilityguidelines.com/GuidelineIndex/Index/Health-Facility-Briefing-and-Design (Дата обращения: 14.07.2025).
9. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрякова А.В. и др. Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 34-44. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44.
10. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А. и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
11. Чипига Л.А., Рыжов С.А., Водоватов А.В. и др. Проблемы обращения с биологическими отходами пациентов в радионуклидной диагностике // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 29-38. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-29-38.
12. Петрякова А.В., Чипига Л.А., Звонова И.А. и др. Проблемы радиационной безопасности при передвижении в общественном транспорте пациента после радионуклидной терапии с ^{131}I // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 97-108. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-17-2-97-108.
13. Чипига Л.А., Петрякова А.В., Водоватов А.В. и др. Оценка содержания ^{223}Ra в сточных водах канализационной системы медицинской организации во время проведения радионуклидной терапии с ^{223}Ra-дихлоридом (Ксофиго®) // Онкоурология. 2024. Т. 20, № 3. С. 94-103. DOI: 10.17650/1726-9776-2024-20-3-94-103.
14. ICRP. Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94 // Annals of the ICRP. 2004. Vol. 34, No 2.
15. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, IAEA, Vienna, 2018.
16. International Atomic Energy Agency. Safety report series No. 63. Release of Patients after radionuclide therapy with contribution from the ICRP. Vienna, 2009.
17. RadiCatch Toilet Filtration System for Nuclear Medicine. URL: https://www.southernscientific.co.uk/products-by-manufacturer/zereau/radicatch?utm_source=chatgpt.com (Дата обращения: 14.07.2025).
18. Wall-hung separation toilets. Toilet for separation and disposal of radioactive waste. URL: https://www.lemerpax.com/en/products/suspended-separation-toilets/ (Дата обращения: 14.07.2025)
19. Чипига Л.А., Звонова Н.А., Водоватов А.В. и др. Совершенствование подхода к определению радиологических критериев выписки пациентов после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 19-31. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31.
20. Schuchardt C., Zhang J., Kulkarni H.R. et al. Prostate-Specific Membrane Antigen Radioligand Therapy Using ^{177}Lu-PSMA I&T and ^{177}Lu-PSMA-617 in Patients with Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: Comparison of Safety, Biodistribution, and Dosimetry // Journal of Nuclear Medicine. 2022. Vol. 63. P. 1199–1207. DOI: 10.2967/jnumed.121.262713.
21. Turner J.H. Outpatient therapeutic nuclear oncology // Annals of Nuclear Medicine. 2012. No 26. P. 289–297.
22. Chipiga L., Likhacheva A., Vodovatov A. et al. Harmonization of practice of release of patients after radiopharmaceutical therapy // Journal of Radiological Protection. 2025. Vol. 45, No 1. P. 45. DOI: 10.1088/1361-6498/adba70.
23. Чипига Л.А., Лихачева А.В., Звонова И.А. и др. Защитные мероприятия для отдельных категорий лиц при контакте с пациентом после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 59-69. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-59-69.
24. Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я. Некоторые аспекты радиационной защиты в отделениях радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 75-85. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-75-85.
25. Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Богатырёва В.Ю. Результаты индивидуального дозиметрического контроля кожи рук персонала, занятого при работе с радиофармацевтическими препаратами // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 4. С. 35-42. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-35-42.
26. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, April 2012. DOI: 10.12768/yc01-0d55.
27. Петрякова А.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я. Контроль качества при оптимизации радиационной защиты пациентов в радионуклидной диагностике // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 81-90. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90.
28. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Катаева Г.В. и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в позитронно-эмиссионной томографии // Медицинская физика. 2019. Т. 82, № 2. С. 78-92.
29. Дружинина П.С., Чипига Л.А., Рыжов С.А. и др. Современные подходы к обеспечению качества диагностики в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 17-33. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33.

Поступила: 30.07.2025

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

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Горский Григорий Анатольевич – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-7310-9718

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

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Лихачева Анастасия Валерьевна – 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; инженер по радиационной безопасности СПб ГБУЗ «Городская больница №40», Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-2663-9091

Шацкий Илья Геннадьевич – 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

ORCID: 0000-0003-2809-0223

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

ORCID: 0000-0003-2921-067X

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

ORCID: 0000-0001-7165-4923

Для цитирования: Чипига Л.А., Горский Г.А., Водоватов А.В., Лихачева А.В., Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Вишнякова Н.М. Комментарии к изменениям и дополнениям обязательных требований по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики и терапии // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 95–104. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-95-104

Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in radionuclide diagnostics and therapy

Larisa A. Chipiga[1,2,3], Grigory A. Gorsky[1,4], Aleksandr V. Vodovatov[1,5], Anastasia V. Likhacheva[1,6], Ilya G. Shatsky[1], Polina S. Druzhinina[1], Nadezhda M. Vishnyakova[1,4]

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

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

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

[4] North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

[5] Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

[6] The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint Petersburg, Russia

The regulatory legal acts of Rospotrebnadzor that established requirements for ensuring radiation safety during radionuclide diagnostics and therapy procedures before September 1, 2025 are significantly outdated and do not reflect the technologies and radionuclides currently in use. The development of nuclear medicine technologies and the introduction of an increasingly wide range of therapeutic radiopharmaceutical drugs necessitate the updating of requirements for the conduct of procedures, patient discharge, and waste management during radionuclide therapy, as well as the consideration of modern practices in organizing radionuclide therapy units based on radionuclide diagnostics departments. This work presents an analysis of the changes and additions introduced in SanPiN 2.6.4115-25, aimed at establishing unified requirements for ensuring radiation safety for personnel, the public, and patients during nuclear medicine procedures. The

Larisa A. Chipiga
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

requirements implemented in SanPiN 2.6.4115-25 for ensuring radiation safety during nuclear medicine procedures have addressed two important scientific and practical problems: accounting for the specifics of modern nuclear medicine methods and resolving a number of contradictions among the existing regulatory legal acts of Rospotrebnadzor. Conclusion: SanPiN 2.6.4115-25 is fully harmonized with international regulatory documents and comprehensively includes requirements for ensuring radiation safety in radionuclide therapy, with an emphasis on protecting the public from radiation exposure.

Key words: *radiation safety, radiation hygiene, sanitary norms and rules, nuclear medicine, radionuclide diagnostics, radionuclide therapy.*

Authors' personal contribution

Chipiga L.A. – formulation of the idea of the article, writing the text, scientific guidance, analysis and interpretation of the article materials.

Gorsky G.A. – analyzing the manuscript, editing the text of the article.

Vodovatov A.V. – formulation of the idea of the article, design of the logical structure, research, determination of the purpose, analysis and interpretation of the materials of the article.

Likhacheva A.V. – writing the text, analyzing and interpreting the materials of the article, design of the logical structure.

Shatsky I.G. – analyzing and interpreting the materials of the article.

Druzhinina P.S. – analysis and interpretation of the materials of the article.

Vishnyakova N.M. – analysis and interpretation of the materials of the article.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

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

References

1. Vodovatov AV, Gorsky GA, Chipiga LA, Shatsky IG, Druzhinina PS, et al. Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in X-ray diagnostics and therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(3):85-94. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-85-94.
2. Chipiga LA, Kozlova KN, Zvonova IA, Vodovatov AV, Biblin AM, Stanzhevsky AA. The geography and structure of nuclear medicine centres in the Russian Federation in 2025. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(2): 124–135. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-124-135.
3. Guidelines "Quality assessment and quality control of the examinations in radionuclide diagnostics". Moscow; St. Petersburg: RKHGA publishing house; 2023. 110 p. (In Russian).
4. The design of diagnostic medical facilities where ionizing radiation is used. A code of practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland. Ireland, Dublin; 2009. 108 p.
5. Chinese Medicine Hospital - Schedule of Accommodation. Онлайн-ресурс. Available from: https://www.healthbureau.gov.hk/en/press_and_publications/otherinfo/200900_cmhp/index.html [Accessed 14.07.2025].
6. Health Building Note 6: Volume 1, Facilities for Diagnostic Imaging and Interventional Radiology. Онлайн-ресурс. Available from: https://www.england.nhs.uk/publication/designing-facilities-for-diagnostic-imaging-hbn-6/ [Accessed 14.07.2025].
7. Australasian Health Facility Guidelines. Part B: Health Facility Briefing and Planning. Revision: 6.0 Онлайн-ресурс. Available from: https://healthfacilityguidelines.com.au/part/part-b-health-facility-briefing-and-planning-0 [Accessed 14.07.2025].
8. International Health Facility Guidelines. Health Facility Briefing and Design. Medical Imaging Unit – General. Available from: https://www.healthfacilityguidelines.com/GuidelineIndex/Index/Health-Facility-Briefing-and-Design [Accessed: 14.07.2025].
9. Chipiga LA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Zvonova I.A., Stanzhevsky AA, Maistrenko DN, et al. Justification of differential approach to management of patient biological waste in nuclear medicine departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 34-44. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44.
10. Chipiga LA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Petryakova AV, Anokina EE, et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(2): 19-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
11. Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, et al. Problems of management of patient biological waste in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(3): 29-38. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-29-38.
12. Petryakova AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovatov AV, Gorsky GA, Stanzhevsky AA. Radiation safety problems during the patient traveling by public transport after radiopharmaceutical therapy with ^{131}I. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 97-108. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-17-2-97-108.
13. Chipiga LA, Petryakova AV, Vodovatov AV, Saprykin KS, Vazhenina DA, Stanzhevsky AA, et al. Estimation of ^{223}Ra in a sewage system of hospital during radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride (Xofigo®). *Cancer Urology*. 2024;20(3): 94-103. (In Russian). DOI: 10.17650/1726-9776-2024-20-3-94-103.
14. ICRP. Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94. *Annals of the ICRP*. 2004;34(2).
15. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation, IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, IAEA, Vienna; 2018.
16. International Atomic Energy Agency. Safety report series No. 63. Release of Patients after radionuclide therapy with contribution from the ICRP. Vienna; 2009.
17. RadiCatch Toilet Filtration System for Nuclear Medicine. Available from: https://www.southernscientific.co.uk/products-by-manufacturer/zereau/radicatch?utm_source=chatgpt.com [Accessed: 14.07.2025].
18. Wall-hung separation toilets. Toilet for separation and disposal of radioactive waste. Available from: https://www.lemerpax.com/en/products/suspended-separation-toilets/ [Accessed 14.07.2025].
19. Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, et al. Improvement of the approach to definition of patient release criteria after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 19-31. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31.
20. Schuchardt C, Zhang J, Kulkarni HR, Chen X, Müller D, Baum RP. Prostate-Specific Membrane Antigen Radioligand Therapy Using ^{177}Lu-PSMA I&T and ^{177}Lu-PSMA-617 in Patients with Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: Comparison of Safety, Biodistribution, and

Dosimetry. *Journal of Nuclear Medicine*. 2022;63: 1199–1207. DOI: 10.2967/jnumed.121.262713.

21. Turner JH. Outpatient therapeutic nuclear oncology. *Annals of Nuclear Medicine*. 2012;26: 289–297.
22. Chipiga L, Likhacheva A, Vodovatov A, Zvonova I, Stanzhevskiy A, Vazhenina D, et al. Harmonization of practice of release of patients after radiopharmaceutical therapy. *Journal of Radiological Protection*. 2025;45(1). DOI: 10.1088/1361-6498/adba70.
23. Chipiga LA, Likhacheva AV, Zvonova IA, Vodovatov AV, Toskin OYu, Sapelnikov AA, et al. Precautions for certain categories of individuals in contact with a patient after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(1): 59-69. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-59-69.
24. Golikov VYu, Chipiga LA, Vodovatov AV, Smolyarchuk MYa. Some aspects of radiation protection in radionuclide therapy departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 75-85. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-75-85.
25. Shleenkova EN, Bazhin SYu, Bogatyreva VYu. Results of individual dosimetric monitoring of the hands skin for personnel engaged in working with radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene.* 2024;17(4): 35-42. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-35-42.
26. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: EURADOS Report 2012-02, Braunschweig; April 2012. DOI: 10.12768/yc01-0d55.
27. Petryakova AV, Chipiga LA, Vodovatov AV, Smolyarchuk MYa. Equipment quality control during patient radiation protection optimisation in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 81-90. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90.
28. Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovatov AV, Zvonova IA, Mosunov AA, Naurzbaeva LT, et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 122-133. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
29. Druzhinina PS, Chipiga LA, Ryzhov SA, Vodovatov AV, Berkovich GV. Smirnov AV, et al. Proposals for the Russian quality assurance program in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 17-33. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-17-33.

Received: July 30, 2025

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

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Grigory A. Gorsky – Candidate of Medical Sciences, Deputy Director of Innovation Work, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human WellBeing; Associate Professor, Department of Hygiene of Conditions of Education, Training, Work and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-7310-9718

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

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Anastasia V. Likhacheva – Junior Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Radiation Safety Engineer, Saint Petersburg City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2663-9091

Ilya G. Shatsky – Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2809-0223

Polina S. Druzhinina – Junior Research Fellow, Laboratory of Radiation Hygiene of Medical Facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2921-067X

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

ORCID: 0000-0001-7165-4923

For citation: Chipiga L.A., Gorsky G.A., Vodovatov A.V., Likhacheva A.V., Shatsky I.G., Druzhinina P.S., Vishnyakova N.M. Comments on amendments and additions to the mandatory requirements for radiation safety in radionuclide diagnostics and therapy. ***Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*****. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 95–104. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-95-104**

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-105-111
УДК: 614.876(470.55)

Оценка продолжительности реализации мероприятий по переселению жителей населенных пунктов бассейна реки Течи и территорий Восточно–Уральского радиоактивного следа

Тряпицына С.В.[1], Кравцова О.С.[2]

[1] Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства, Челябинск, Россия

[2] 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

К долгосрочным мерам радиационной защиты населения радиоактивно загрязненных территорий, применяемым с целью предотвращения хронического облучения, относится переселение. В научной литературе активно обсуждается вопрос оправданности такой радикальной меры защиты. Однако научные исследования в большей мере направлены на поиск обоснованных дозовых критериев и способов оптимизации ресурсов, необходимых для реализации этого защитного мероприятия. Вопрос о продолжительности мероприятий по переселению жителей с загрязненных территорий освещен слабо. Цель исследования – оценить продолжительность реализации мероприятий по переселению жителей населенных пунктов бассейна реки Течи и территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. Материалы и методы: Источником информации об отселенных жителях радиоактивно загрязненных территорий Уральского региона послужила медико-дозиметрическая база данных Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики Федерального медико-биологического агентства. Результаты исследования и обсуждение: Для двух радиационных ситуаций проанализированы и сопоставлены сроки проведения мероприятий по отселению жителей населенных пунктов. Переселение жителей из прибрежных населенных пунктов реки Течи длилось до восьми лет, а длительность фактического (без учета подготовительного периода) отселения жителей составила от двух до четырех лет. Из всех отселенных населенных пунктов этой территории большего времени потребовало отселение поселка подсобного хозяйства треста № 92. Переселение жителей из населенных пунктов, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, было проведено в более сжатые сроки. При этом были реализованы такие меры защиты как эвакуация (продолжительностью в несколько суток) и плановое отселение (продолжительностью до двух лет). Заключение: Проведение мероприятий по плановому отселению населения с территории Восточно-Уральского радиоактивного следа отличалось от проведения мероприятий по отселению жителей населенных пунктов, расположенных на реке Течи: длительность фактического переселения жителей с загрязненных территорий Восточно-Уральского радиоактивного следа не превышала двух лет, а с прибрежных территорий реки Течи – четырех лет.

Ключевые слова: *защитные меры, переселение, Уральская когорта аварийно-облученного населения, река Теча, Восточно-Уральский радиоактивный след.*

Введение

Основная концепция системы радиационной защиты, направленной на охрану здоровья человека от вредного воздействия ионизирующих излучений, заключается в предотвращении детерминированных эффектов и снижению до разумно достижимых уровней рисков возникновения стохастических эффектов [1]. При возникновении масштабной радиационной ситуации к эффективным мерам радиационной защиты относится отселение (временное или постоянное) жителей радиоактивно загрязненных территорий [1, 2]. По срокам принятия решений о защите здоровья населения переселение может быть экстренным или плановым [2–4]. По инициации такого решения переселение может быть добровольным либо принудительным, т.е. принятым по решению административных органов территории [5].

В мировой истории ядерных и радиологических событий [6] имеются примеры применения защитной меры, связанной с отселением (добровольным или принудительным) в случае масштабного загрязнения территории [7, 8]. Первый опыт принудительного отселения жителей был получен в середине прошлого века на территории СССР. Связано это было с предотвращением вреда здоровью населения от воздействия ионизирующего излучения вследствие возникновения двух радиационных ситуаций на Южном Урале: сбросов жидких радиоактивных отходов (ЖРО) химкомбината «Маяк» в конце 1940-х – в начале 1950-х гг. в реку Течу и радиационной аварии 1957 года (взрыв емкости с высокоактивными радиоактивными отходами на том же предприятии) с образование Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) [7, 9]. В научной литературе активно обсужда-

Тряпицына Светлана Васильевна
Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики
Адрес для переписки: 454014, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: svt174@list.ru

ется вопрос оправданности такой радикальной меры защиты как переселение [7, 8, 10–12]. При этом принцип защиты расстоянием сомнений не вызывает и научные исследования направлены на поиск обоснованных дозовых критериев и способов оптимизации ресурсов, необходимых для реализации этого защитного мероприятия. Однако в литературе слабо освещен вопрос продолжительности организационных мероприятий по переселению населения с загрязненных территорий на территории «чистые» с целью предотвращения его хронического облучения.

В Южно-Уральском федеральном научно-клиническом центре медицинской биофизики ФМБА России (ЮУрФНКЦ МБ) информация по облученным жителям радиоактивно загрязненных территорий организована в медико-дозиметрическую базу данных «Человек» ЮУрФНКЦ МБ (БД «Человек») [13]. Предложенный метод классификации представителей Уральской когорты аварийно-облученного населения (УКАОН) [14] по критерию вынужденного переселения [15] (то есть переселения по распоряжению органов власти) позволил определить фактические сроки принудительного отселения представителей когорты с радиоактивно загрязненных территорий. Появилась возможность для двух радиационных событий с масштабным загрязнением территорий, близких по времени и произошедших в пределах одного региона, провести исследование характера реализации такой меры защиты здоровья населения от вредного воздействия ионизирующего излучения как переселение.

Цель исследования – оценить продолжительность реализации мероприятий по переселению жителей населенных пунктов бассейна реки Течи и территорий ВУРС.

Материалы и методы

Информация об облученных жителях радиоактивно загрязненных территорий Уральского региона собрана в БД «Человек» [13]. Численность УКАОН составляла приблизительно 63 тыс. человек, проживавших в период 1950-1960 гг. в НП Челябинской и Курганской областей и облучившихся вследствие ситуаций на ПО «Маяк» [14]. Временные рамки реализации принудительного переселения представителей УКАОН были определены по результатам исследования [15].

В данном исследовании было проведено группирование НП по радиационной ситуации и году выхода распорядительного документа административных органов об отселении жителей загрязненных территорий Челябинской и Курганской областей (табл. 1).

Таблица 1

Группы населенных пунктов

[Table 1

Groups of settlements]

Группа [Group]	Населенный пункт [Settlement]
	Ситуация облучения населения вследствие сбросов ЖРО в реку Течу [Situation of public exposure due to LRW discharges into the Techa River]
Т.1954 [T.1954]	Большое Исаево[1], Герасимовка[1], Ибрагимово[1,*], Малое Таскино[1,*], Метлино[1], Надыров Мост[1], Надырово[1], Назарово[1,*], Новое Асаново[1], Подсобное хозяйство треста № 92[1], Старое Асаново[1], Теча-Брод[1,*] [Bolshoye Isaevo[1], Gerasimovka[1], Ibragimovo[1,*], Maloye Taskino[1,*], Metlino[1], Nadyrov Most[1], Nadyrovo[1], Nazarovo[1,*], Novoye Asanovo[1], Farm of Trust No. 92[1], Staroye Asanovo[1], Techa-Brod[1,*]]
Т.1956 [T.1956]	Геологоразведочный поселок (ГРП)[1] [Settlement of the geological prospecting party (GRP)[1]]
Т.1957 [T.1957]	2-я Белоярка[2], Бакланово[1], Ветродуйка[1,*], Ганино[2,*], Дубасово[2], Заманиха[1], Карпино[1], Курманово[1], Марково[2,*], Осолодка[1], Паново[1,*], Прогресс[2,*], Черепаново[1] [Beloyarka-2[2], Baklanovo[1], Vetroduika[1,*], Ganino[2,*], Dubasovo[2], Zamanikha[1], Karpino[1], Kurmanovo[1], Markovo[2,*], Osolodka[1], Panovo[1,*], Progress[2,*], Cherepanovo[1]]
	Ситуация облучения населения вследствие аварии 1957 года [Situation of public exposure due to the 1957 accident]
В.1957 [E.1957]	Бердяниш[1], Галикаева[1], Кирпичики[1,*], Сатлыково[1] [Berdyanish[1], Galikaeva[1], Kirpichiki[1,*], Satlykovo[1]]
В.1958 [E.1958]	Алабуга[1], Боевское[1], Брюханово[1,*], Горный[1], Гусево[1], Игиш[1], Кривошеино[1], Малое Шабурово[1,*], Мельниково[1,*], Русская Караболка[1], Скориново[1,*], Трошково[1,*], Фадино[1,*], Юго-Конево[1] [Alabuga[1], Boevskoye[1], Bryukhanovo[1,*], Gorny[1], Gusevo[1], Igish[1], Krivosheino[1], Maloye Shaburovo[1,*], Melnikovo[1,*], Russkaya Karabolka[1], Skorinovo[1,*], Troshkovo[1,*], Fadino[1,*], Yugo-Konevo[1]]
В.1959 [E.1959]	Кажакуль[1] [Kazhakul[1]]

[1] НП относился к Челябинской области [The settlement belonged to Chelyabinsk region]; [2] НП относился к Курганской области [The settlement belonged to Kurgan region].

* НП с численностью населения менее 200 человек [The population is less 200 residents].

Численность жителей в НП бассейна реки Течи, подлежащих отселению, на 1950 год составляла от 50 до 1000 человек; в НП территории ВУРС – от 70 до 2500 человек. Общая численность отселенных жителей (представителей УКАОН) составила приблизительно по 8 тысяч человек соответственно. Сроки фактической реализации защитных мероприятий по переселению жителей загрязненных территорий, включая «период принятия решений» и «период переселения», определены по результатам исследования [15].

Систематизацию и обработку исходной информации проводили с использованием MS Office Excel 2013, статистический анализ – с использованием программного пакета Past 5.0.2.

Результаты и обсуждение

Переселение жителей НП бассейна реки Течи

Мероприятия по переселению жителей прибрежных НП реки Течи были инициированы в 1954, 1956 и 1957 годах.

Группы НП, отселенные по распоряжениям 1954 года (группа НП «Т.1954») и 1957 года (группа НП «Т.1957») сопоставимы как по количеству НП (12 НП и 13 НП соответственно), так и по совокупной численности населения, оцененной на год выхода распорядительного документа. В группе НП «Т.1954» (без учета поселка подсобного хозяйства треста № 92) доля жителей, переселившихся в «период принятия решений» [15], составила (5,0 ± 1,5) %[1], в группе НП «Т.1957» – (10,0 ± 1,6) %. На организацию переселения жителей первой группы НП (также без учета поселка подсобного хозяйства треста № 92) потребовалось от двух[2] до четырех лет (в среднем – 2,7[2,3 ... 3,1][3] года), жителей второй группы – от двух до пяти лет (в среднем – 4,1[3,7 ... 4,5] года), а длительность «периода переселения» [15] составила, в среднем, 2[1,7 ... 2,3] года и 2,1[1,6 ... 2,5] года соответственно. Самым продолжительным было переселение жителей поселка подсобного хозяйства № 92, фактическое отселение которого началось лишь через четыре года после выхода постановления об отселении и длилось четыре года, что обусловлено спецификой НП, образованного для нужд сельскохозяйственного предприятия. В отличие от поселка подсобного хозяйства, мероприятие по переселению геологоразведочного поселка (группа НП «Т.1956») произошло в сжатые сроки: в 1957 году поселок был отселен и ликвидирован [12]. С момента выхода административного постановления в самые короткие сроки было организовано переселение малых по численности жителей НП (Ганино, Ибрагимово, Малое Таскино, Теча-Брод), а также поселка геологоразведки. Самое продолжительное время население продолжало проживать в деревнях 2-я Белоярка, Осолодка, Карпино, а также в поселке подсобного хозяйства треста № 92. Самый продолжительный «период переселения» (т.е. без учета времени на подготовительные мероприятия) отмечен для НП Марково и поселка подсобного хозяйства.

Из приведенной выше информации можно заключить, что в целом мероприятия по отселению теченских прибрежных НП (за исключением поселка подсобного хозяйства треста № 92), инициированные в 1954 году, имеют более короткие сроки исполнения, чем мероприятия, решения по которым были приняты в 1957 году, т.е. можно признать, что практическая реализация мероприятий по отселению НП по правительственному распоряжению 1954 года проводилась более организовано, чем по распоряжению 1957 года. Однако различий в длительности «периода переселения» для этих групп НП не выявлено. Это же подтверждает анализ групповых частотных распределений стандартизованных (z-преобразование [16]) величин миграционной убыли населения за год в «период переселения», который не показал значимых различий ($p > 0,05$; тест Колмогорова-Смирнова). Более длительное время потребовалось для переселения НП, специализировавшегося в сельскохозяйственной отрасли экономики.

Переселение жителей территории ВУРС

Миграционные процессы, связанные с отселением жителей из НП территории ВУРС, различают как экстренные и плановые [4, 5]. В год аварии экстренно было полностью отселено три НП и один НП (д. Кирпичики) отселен частично (группа НП «В.1957») [17, 18]. Экстренное переселение трех НП длилось до 10 суток, а НП Кирпичики – до 14 суток [7]. В последующие два года было проведено плановое отселение 15 НП, из них: 14 НП – по инициативному решению 1958 года (группа НП «В.1958») и один – по решению 1959 года (группа НП «В.1959»). Фактическое переселение жителей 15 НП началось в год принятия решения и длилось в среднем 1,4[1,1 ... 1,6] года, при этом два года потребовалось для полного отселения НП Боевское, Кривошеино, Мельниково, Трошково, Фадино с численностью жителей от 70 до 1000 человек. Переселение с. Кажакуль (группа НП «В.1959»), численность населения которого до аварии составляла около 500 человек, также заняло два года.

Результаты анализа информации о НП, отселенных с территории ВУРС, показывают, что длительность периода отсроченного (планового) отселения не превысила двух лет, тогда как сам процесс отселения НП закончился на четвертый год после аварии. Из всех отселенных НП территории ВУРС самое длительное время в головной части следа проживали жители с. Кажакуль.

Сопоставление двух радиационных ситуаций

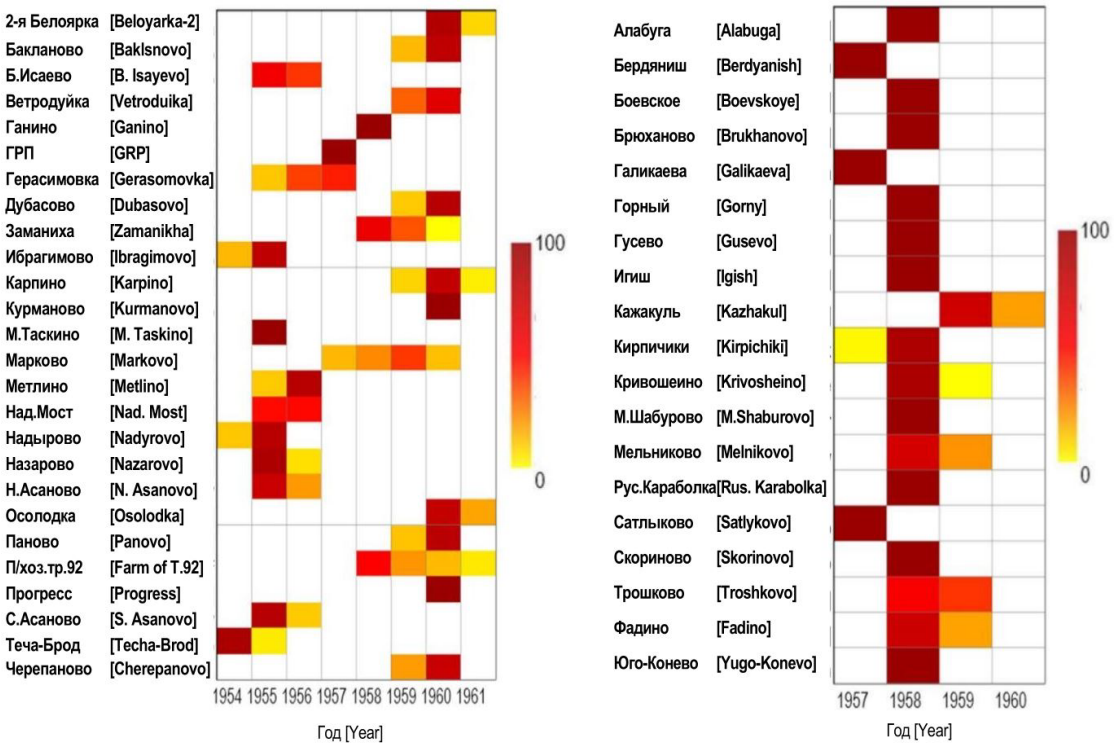
В ситуации радиоактивного загрязнения реки Течи проведение мероприятий по отселению 26 НП в среднем заняло 3,6[3,1 ... 4,1] года (медианное значение – 4 года); в ситуации загрязнения территории вследствие радиационной аварии 1957 года длительность реализации экстренных мероприятий с полным отселением трех НП составила несколько суток, а длительность реализации плановых мероприятий с отселением 15 НП составила в среднем 1,4[1,1 ... 1,6] года (медианное значение – один год). «Период переселения» населения из прибрежных НП реки Течи в среднем длился 2,1[1,8 ... 2,4] года, а с территории ВУРС, где переселение начиналось в том же году, когда было вынесено административное решение, – такой же промежуток времени, сколько занял весь период проведения мероприятий по отселению, то есть в среднем 1,4 года.

Матричная диаграмма с цветовой шкалой градиента, представленная на рисунке 1, наглядно демонстрирует различную интенсивность проведения защитных мероприятий по отселению НП в двух ситуациях загрязнения объектов окружающей среды радиоактивными веществами. Сопоставление частотных распределений стандартизованных величин годовой убыли населения (рис. 2) за счет миграции из НП подтвердило этот вывод ($p < 0,05$; тест Эппса-Синглтона).

[1] Здесь и далее приведены следующие статистические параметры: среднее значение ± станд. ошибка среднего [The following statistical parameters are hereafter given: mean value ± std.error].

[2] Здесь и далее приводятся оценки длительности временных периодов с учетом года начала переселения [The time periods are hereafter given with the year of resettlement commencement].

[3] Здесь и далее приведены следующие статистические параметры: среднее значение[нижняя граница доверительного интервала ... верхняя граница доверительного интервала). P=0,95 [The following statistical parameters are hereafter given: mean value(lower limit of confidence interval ...upper limit of confidence interval). P=0.95].



(а) р. Теча [Techa River] **(б) ВУРС [EURT]**

Рис. 1. Интенсивность изменения годовой убыли населения за счет миграции из НП в «период переселения», %
[**Fig. 1.** Intensity of change in migration rates during the "resettlement period" %]

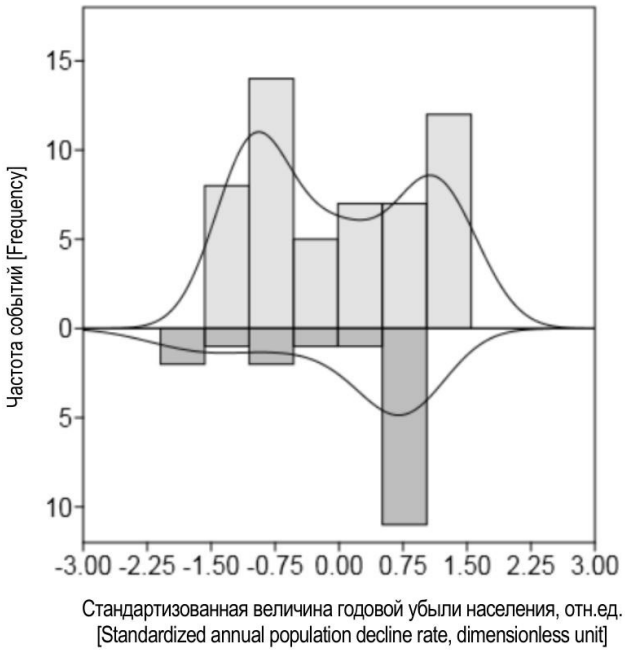


Рис. 2. Частотное распределение годовой убыли населения. Верхняя панель рисунка (светло-серый тон) – для ситуации на реке Теча; нижняя панель (темно-серый тон) – для ситуации аварии 1957 года

[**Fig. 2.** Frequency distribution of annual population decline. The upper panel of the figure (light gray tone) is for the Techa River situation; the lower panel (dark gray tone) is for the 1957 accident situation]

С точки зрения изучения характеристик реализации мероприятий по переселению интерес представляет сопоставление сроков проведения отселений НП в пределах одного региона. Для этого был проведен детальный анализ продолжительности отселения НП в Челябинской области. Помимо того, что большая часть территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, расположена в Челябинской области, этот регион относится к территориям с развитой промышленной отраслью, тогда как Курганская область – к регионам с развитым агарным сектором экономики. Такая специфика рассматриваемого региона предполагает бóльшую возможность создания новых сооружений (в том числе жилых домов для переселенных жителей) и развития необходимой инфраструктуры. Также следует принимать во внимание и единый административный ресурс.

Исходя из предположения, что сроки переселения НП с малой численностью жителей могут отличаться от таковых для более крупных НП, исследуемый массив данных был поделен на две категории НП: НП I (НП с численностью жителей до 200 человек) и НП II (прочие НП). С целью повышения однородности сравниваемых массивов, из совокупности отселенных НП были исключены НП с узкоспециализированным направлением хозяйственной деятельности (поселок подсобного хозяйства треста № 92 и поселок геологоразведочной партии). И также из совокупности анализируемой информации исключены данные по эвакуированным НП, а оставлены НП, где переселение проводилось после получения дополнительной дозиметрической информации. Результаты сопоставления продолжительности реализации мероприятий по переселению (рассмотрен только «период переселения» [15]) для двух ситуаций представлены на рисунке 3.

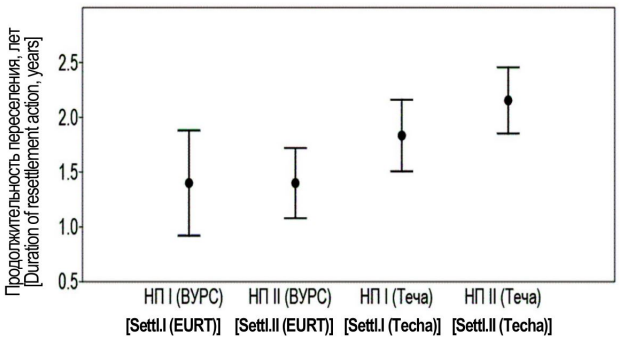


Рис. 3. Доверительные интервалы (P=0,95) средних значений продолжительности реализации мероприятий по переселению

Fig. 3. Confidence intervals (P=0.95) for the mean values of resettlement action duration

Средняя продолжительность реализации мероприятий по переселению малых НП (НП I) Челябинской области бассейна реки Течи (6 НП) составила 1,8 года, НП зоны ВУРС (5 НП) – 1,4 года. Проведенный статистический анализ значимых различий в полученных оценках не выявил ($p < 0,05$; U-критерий Манна-Уитни). Средняя продолжительность переселения более крупных НП, расположенных в бассейне реки Течи (13 НП), составила 2,2 года, а для НП зоны ВУРС (10 НП) –1,4 года, т.е. отселение НП с численностью жителей свыше 200 человек из зоны ВУРС в среднем длилось столько же времени, сколько потребовалось для отселения малочисленных НП. Статистический анализ сопоставления средних оценок продолжительности отселения относительно крупных НП (НП II) для двух ситуаций показал, что выявленные различия значимы (тот же тест). Из этого можно сделать вывод, что мероприятия по отселению жителей НП с радиоактивно загрязненных вследствие аварии 1957 года территорий были организованы эффективней, чем мероприятия по отселению НП бассейна реки Течи.

Заключение

Реализация мероприятий по переселению представителей когорты УКАОН из прибрежных НП реки Течи заняла восемь лет, а длительность фактического отселения жителей составила от двух до четырех лет. Исследование показало, что хотя мероприятия раннего этапа переселения (1954 года) были организованы более результативно, в целом продолжительность их реализации не отличалось от выполнения мероприятий 1957 года. Из всех отселенных НП после выхода административного постановления большего времени потребовало отселение поселка сельскохозяйственного предприятия (поселок подсобного хозяйства треста № 92). Переселение жителей из НП, расположенных на территории ВУРС, было проведено в более сжатые сроки – с момента радиационной аварии 1957 года процесс отселения занял не более четырех лет. При этом были реализованы такие меры защиты как эвакуация (часть населения была отселена в кратчайшие сроки (до 14 суток [7]) с последующим поселением на других территориях) и как плановое отселение. Результаты нашего исследования показали, что проведение мероприятий по плановому отселению жителей НП территории ВУРС отличалось от проведения мероприятий по отселению жителей НП, расположенных на реке Тече – длительность фактического переселения представителей УКАОН с загрязненных территорий ВУРС не превышала двух лет, тогда как с прибрежных территорий реки Течи – четырех лет.

Таким образом, можно признать, что по срокам переселения жителей с радиоактивно загрязненных территорий реализация мероприятий по защите населения от последствий аварии 1957 года была организована более эффективно, чем реализация защитных мероприятий в ситуации загрязнения радиоактивными веществами реки Течи.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Тряпицына С.В. – подготовка и анализ первичных материалов исследования, редактирование текста статьи.

Кравцова О.С. – анализ источников информации, обобщение и обработка материалов исследования, проведение анализа полученных результатов, написание текста статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Н.В. Старцеву, Е.А. Шишкиной, Е.Ю. Буртовой, Л.Ю. Крестининой (сотрудники ЮУрФНКЦ МБ ФМБА России) за конструктивные предложения при проведении исследования и обсуждении результатов. Авторы признательны А.В. Аклееву (генеральному директору ЮУрФНКЦ МБ ФМБА России) за помощь в проработке концепции исследования, общее и научное руководство. Авторы благодарны рецензентам за позволившие улучшить представление материала рекомендации и за проделанную работу.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального медико-биологического агентства России, в рамках прикладной научно-исследовательской работы «Отдаленные эффекты хронического облучения населения Уральского региона 2025-2027».

Литература

1. ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. 1st edition. Oxford: SAGE Publications Ltd, 2013. 334 p.
2. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. International Atomic Energy Agency, 2018. 189 p.
3. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: издание 2018 года. Вена: МАГАТЭ, 2023. 359 с.
4. ICRP Publication 109: Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. 1st edition. Amsterdam: SAGE Publications Ltd, 2010. 112 p.
5. ICRP Publication 111: Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. 1st edition. Amsterdam: SAGE Publications Ltd, 2010. 70 p.
6. ИНЕС: Руководство для пользователей международной шкалы ядерных и радиологических событий. Вена: МАГАТЭ, 2010. 235 с.
7. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / под общ. ред. Л.А. Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
8. Константинов Ю.О. Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). С. 20–30.
9. Челябинская область: ликвидация последствий радиационных аварий / под ред. А.В. Аклеева. Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 2006. 344 с.

10. Waddington I., Thomas P., Taylor R. et al. J-value assessment of relocation measures following the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima Daiichi // Process Safety and Environmental Protection. 2017. Vol. 112. P. 16–49.
11. Linge I., Melikhova I., Pavlovski O. Medico-demographic criteria in estimating the consequences of the Chernobyl accident. In: One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Poster presentations. Vol. 1. International Conference 8–12 April 1996, Vienna, 1997. P. 206 – 214.
12. Wilson R. Evacuation Criteria after A Nuclear Accident: A Personal Perspective // Dose Response. 2012. Vol. 10, № 4. P. 480–499.
13. Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Течи / под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселева. М.: Медбиоэкстрем, 2001. 561 с.
14. Силкин С.С., Крестинина Л.Ю., Старцев В.Н. и др. Уральская когорта аварийно-облученного населения // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. Т. 21, № 3. С. 393–402.
15. Тряпицына С.В., Кравцова О.С. Определение фактических сроков вынужденного переселения представителей Уральской когорты аварийно-облученного населения с радиоактивно загрязненных территорий // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 2. С. 37–46.
16. Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Нормализация данных в машинном обучении // Информатика. 2021. Т. 18, № 3. С. 83–96.
17. Толстиков В.С., Кузнецов В.Н. Ядерное наследие на Урале: исторические оценки и документы. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2017. 400 с.
18. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона. М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2002. 204 с.

Поступила: 16.07.2025

Тряпицына Светлана Васильевна – руководитель группы информационной поддержки исследований населения научно-исследовательского отдела медико-биологической и демографической аналитики- младший научный сотрудник НИИ радиологической защиты Южно-Уральского федерального научно-клинического центра медицинской биофизики ФМБА России. **Адрес для переписки:** 454014, Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, 68-А; E-mail: svt174@list.ru
ORCID: 0009-0008-5701-3693

Кравцова Ольга Сергеевна – кандидат биологических наук, исполняющая обязанности ведущего научного сотрудника 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
ORCID: 0009-0008-5543-5411

Для цитирования: Тряпицына С.В., Кравцова О.С. Оценка продолжительности реализации мероприятий по переселению жителей населенных пунктов бассейна реки Течи и территорий Восточно-Уральского радиоактивного следа // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 105–111. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-105-111

Duration of implementation of measures for relocation of residents of settlements of the Techa River basin and territories of the East Ural Radioactive Trace

Svetlana V. Tryapitsyna[1], Olga S. Kravtsova[2]

[1] Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics of the Federal Medical Biological Agency, Chelyabinsk, Russia

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

Relocation is a long-term radiation protection measure for the population of radioactively contaminated territories to prevent chronic exposure. The first experience of forced relocation of the population of radioactively contaminated territories took place in the USSR in the middle of the last century. The justification for such a radical protective measure is actively debated in the scientific literature. However, scientific research is more focused on the search for reasonable dose criteria and ways to optimise the resources needed to implement this protective measure. The question of the duration of measures for the resettlement of inhabitants from contaminated areas is poorly addressed. The aim of the study is to characterise the implementation of measures for the relocation of inhabitants of settlements of the Techa River basin and territories of East Ural Radioactive Trace. Materials and Methods: The main source of information on exposed inhabitants of radioactively contaminated territories of the Ural region is the medical-dosimetric database. Results and Discussion: For two radiation situations the conditions of relocation of settlements were analysed and compared. The implementation of measures for the relocation of the residents of the coastal settlements of the Techa River took eight years, and the actual relocation (excluding the preparatory period) of the residents lasted from two to four years. The agricultural settlement (Farm of Trust № 92) took longer to resettle of all the relocated settlements in the area. The relocation of the residents of the settlements located on the territory of the East Urals Radioactive Trace was carried out in a shorter period of time. At the same time, protective measures such as evacuation (lasted several days) and planned resettlement (lasted up to two

Svetlana V. Tryapitsyna
Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics
Address for correspondence: 68A, Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: svt174@list.ru

years) were implemented. Conclusion: The implementation of the measures for the planned relocation of the population from the territory of the East Ural Radioactive Trace differed from the implementation of the measures for the relocation of the inhabitants of the settlements located on the Techa River - the duration of the actual relocation of the inhabitants from the contaminated territories of the East Ural Radioactive Trace did not exceed two years, and from the coastal territories of the Techa River - four years. The evacuation took several days.

Key words: *protective measures, resettlement, Ural cohort of accidentally irradiated population, Techa River, East Ural Radioactive Trace.*

Authors' personal contribution

Tryapitsyna S.V. – search for literature sources, systematization, preparation and analysis of primary research materials, editing the text of the article.

Kravtsova O.S. – analysis of information sources, generalization and processing of research materials, carrying out calculations, analysis of the obtained results, writing the text of the article.

Acknowledgments

The authors express their gratitude and appreciation to N.V. Startsev, E.A. Shishkina, E.Yu. Burtovaya, and L.Yu. Krestinina (employees of the SUFRCC MB) for constructive suggestions in conducting the study and discussing the results. The authors are grateful to A.V. Akleev (General Director of the SUFRCC MB) for his help in elaboration of the study concept, general and scientific guidance. The authors thank to the reviewers for their work.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Sources of funding

The work was carried out with financial support of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, within the framework of applied research work “Long-term effects of chronic irradiation of the population of the Ural region 2025-2027”.

References

1. ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. 1st edition. Oxford: SAGE Publications Ltd; 2013. 334 p.
2. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. International Atomic Energy Agency; 2018. 189 p.
3. IAEA safety glossary: 2018 edition. International Atomic Energy Agency; 2023. 359 p. (In Russian).
4. ICRP Publication 109: Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations. 1st edition. Amsterdam: SAGE Publications Ltd; 2010. 112 p.
5. ICRP Publication 111: Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. 1st edition. Amsterdam: SAGE Publications Ltd; 2010. 70 p.
6. INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale, User's Manual, 2010 Vienna: International Atomic Energy Agency; 2010. 235 p. (In Russian).
7. Aleksakhin RM, Buldakov LA, Gubanov VA, Drozhko EG, Ilyin LA, Kryshev II, et al. Large-scale radiation accidents: consequences and protective measures. Moscow: IzdAT; 2001. 752 p. (In Russian).
8. Konstantinov YuO. Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions. Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 20-30. (In Russian).
9. Akleev AV, eds. Chelyabinsk region: Liquidation of consequences of radiation accidents. Chelyabinsk: South-Ural Book Publishing House; 2006. 344 p. (In Russian).
10. Waddington I, Thomas P, Taylor R, Vaughan G. J-value assessment of relocation measures following the nuclear power plant accidents at Chernobyl and Fukushima Daiichi. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017;112: 16–49.
11. Linge I, Melikhova I, Pavlovski O. Medico-demographic criteria in estimating the consequences of the Chernobyl accident. In: One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Poster presentations - Vol. 1. International Conference 8–12 April 1996, Vienna. P. 206 – 214.
12. Wilson R. Evacuation Criteria after A Nuclear Accident: A Personal Perspective. *Dose Response*. 2012;10(4): 480–499.
13. Akleev AV, Kiselev MF, eds. Medical-biological and ecological impacts of radioactive contamination of the Techa River. Moscow: Medbioekstrem; 2001. 561 p. (In Russian).
14. Silkin SS, Krestinina LYu, Startsev NV, Akleev AV. Ural cohort of emergency-irradiated population. *Meditsina ekstremanykh situatsiy = Medicine of Extreme Situations*. 2019;21(3): 393-402. (In Russian).
15. Tryapitsyna SV, Kravtsova OS. Determination of the actual term of relocation of representatives of the Ural cohort of accidentally irradiated population from radioactively contaminated territories. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(2): 37–46. (In Russian).
16. Starovoitov VV, Golub Yul. Data normalization in machine learning. *Informatics.* 2021;18(3): 83–96 (In Russian).
17. Tolstikov VS, Kuznetsov VN. Nuclear Heritage in the Urals: Historical Assessments and Documents: Nuclear Cities of the Urals. Ekaterinburg: Bank of cultural information; 2017. 400 p. (In Russian).
18. Consequences of technogenic radiation exposure and the problem of rehabilitation of the Ural region. Moscow: Komtechprint; 2002. 204 p. (In Russian).

Received: July 16, 2025

For correspondence: Svetlana V. Tryapitsyna – Head of Research Data Support for Population Studies – Junior Researcher of R&D Department of Medical and Biological Demographic Analytics of Research Institute of Radiological Protection of Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, Federal Medical Biological Agency (68A, Vorovsky Str., Chelyabinsk, 454141, Russia; E-mail: svt174@list.ru)

ORCID: 0009-0008-5701-3693

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

ORCID: 0009-0008-5543-5411

For citation: Tryapitsyna S.V., Kravtsova O.S. Duration of implementation of measures for relocation of residents of settlements of the Techa River basin and territories of the East Ural Radioactive Trace. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 105–111. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-105-111

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-112-119
УДК: 616-073.75:614.876:004.4

Разработка мобильного приложения для оценки радиационного риска, связанного с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований

Репин Л.В., Библин А.М.

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

Применение ионизирующего излучения является одним из интенсивно развивающихся направлений в медицинской диагностике, что приводит к неуклонному росту числа исследований и коллективной дозы медицинского облучения в последние годы. В связи с этим актуальным является решение задачи повышения доступности достоверной научной информации о радиационных рисках, связанных с медицинским облучением. Цель работы — создание прикладного инструмента, предназначенного для решения задачи по информированию пациентов и их законных представителей о радиационных рисках, связанных с медицинским диагностическим облучением. Материалы и методы: Для наиболее полного представления о радиационных рисках, связанных с медицинским диагностическим облучением, было разработано мобильное приложение, позволяющее получить результаты оценки четырех различных показателей риска: средняя индивидуальная эффективная доза; среднее число потерянных лет здоровой жизни; средний риск развития злокачественных новообразований с поправкой на степень тяжести заболевания; оценка риска с помощью качественной шкалы, дополненной цветографическим представлением значения риска. Для формирования базы данных показателей радиационного риска были использованы оценки 17 719 значений органных доз, получаемых пациентами различного возраста при проведении медицинских диагностических исследований. Результаты и обсуждение: Разработанное мобильное приложение имеет двуязычный интерфейс с возможностью добавления дополнительных языковых модулей. Минималистичный дизайн интерфейса предполагает возможность переключения между тремя основными экранами приложения: «Одиночное исследование», «Серия исследований» и «Сохраненные серии». Заключение: Разработка мобильного приложения по оценке рисков при медицинском облучении стала первым результатом практического применения методик оценки риска, разработанных авторами, с целью создания простого инструмента информационной поддержки пациентов, их законных представителей, медицинских специалистов и широкого круга заинтересованных лиц.

Ключевые слова: *медицинское облучение, радиационный риск, радиационный ущерб, DALY, мобильное приложение.*

Введение

Применение ионизирующего излучения (ИИ) является одним из интенсивно развивающихся направлений в медицинской диагностике, что приводит к неуклонному росту числа исследований и коллективной дозы медицинского облучения в последние годы [1-3]. При этом медицинское облучение пациентов не нормируется. Одним из следствий этого является восприятие лучевых методов исследования как рутинных, повседневных, и, следовательно, «сравнительно безопасных». Для медицинских специалистов польза от применения указанных методов диагностики кажется очевидно превышающей возможный вред. Прежде всего, это связано с тем, что качественная диагностическая информация, необходимая для диагностики и правильного лечения, будет получена «здесь и сейчас», тогда как возможные негативные последствия воздействия радиации на пациента носят отсроченный на годы характер. Решение же задачи по информированию о риске, связанном с медицинским исследованием, и получение добровольного информированного согласия на его проведение зачастую превращается в формальность, результатом чего является рост числа жалоб и исковых заявлений со стороны пациентов по отношению к медицинским работникам [4, 5]. Дополнительную сложность может представлять недостаточно высокий уровень компетенции медицинских специалистов в области оценки радиационных рисков, не способствующий формированию адекватного восприятия информации о рисках у пациентов, их законных представителей, а также самого медицинского персонала.

При этом радиотревожность отдельных пациентов способна оказывать негативное влияние как на принятие решений о проведении исследований, так и на психологическое состояние, связанное с выражением согласия на проведение исследования «по необходимости». Развитие Интернета и современных средств коммуникации, а также достаточно низкий средний уровень критического анализа поступающей информации приводят к тому, что в результате самостоятельного поиска люди зачастую получают недостоверную информацию, в которой уровень потенциального риска, связанного с воздействием радиации, неадекватно завышен и преподносится как неизбежный либо, напротив, полностью отрицается. На рисунке 1 представлены некоторые результаты с первой страницы выдачи результатов поисковой системы Яндекс в ответ на запрос «Компьютерная томография вызывает рак?».

Репин Леонид Викторович
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: l.repin@niirg.ru

Как видно, представленная информация носит взаимоисключающий характер, а неправильное понимание упоминаемых авторами публикаций результатов научных исследований приводит еще и к искажению сути получаемых учеными результатов. Особенно примечательным является принципиальное отличие формулировок первого и третьего результатов. Обе публикации ссылаются на одну и ту же работу, при этом абсолютно по-разному интерпретируя оценку в «5%». Причем в первом случае абсолютно неправильно, а во втором – без важной оговорки. В оригинальном исследовании были изучены 93 млн КТ исследований, проведенных в 2023 г. в США. «В ходе исследования было установлено, что при текущем уровне использования и дозы облучения КТ-исследования в 2023 г., по прогнозам, приведут к примерно 103 000 случаев рака в будущем в течение жизни пациентов, подвергшихся воздействию. Если нынешняя практика сохранится, рак, связанный с КТ, в конечном итоге может составлять 5% всех новых диагнозов рака ежегодно» [6].

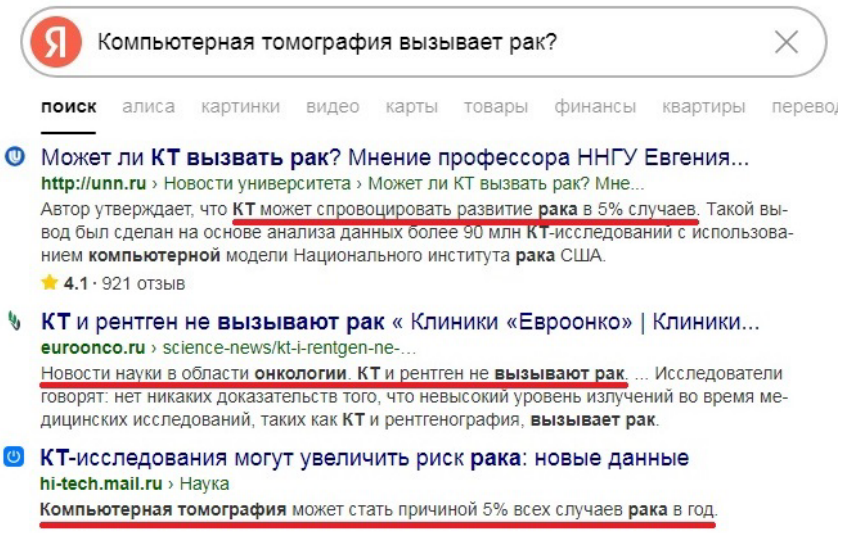


Рис. 1. Фрагмент результатов поисковой выдачи по запросу «Компьютерная томография вызывает рак?» в поисковой системе Яндекс

[Fig. 1. Fragment of search results for the query “Does computed tomography cause cancer?” in Yandex]

В описанных условиях решение задачи повышения доступности достоверной научной информации о радиационных рисках, связанных с медицинским облучением, представляется крайне актуальным. Для решения данной задачи в рамках отраслевой научно-исследовательской работы (НИР) «Разработка и научное обоснование прикладных методов оценки радиационных рисков для здоровья населения при различных ситуациях и сценариях облучения на основе современных подходов к оценке радиационного ущерба» было разработано мобильное приложение по оценке радиационных рисков при медицинском диагностическом облучении пациентов. Указанное приложение предназначено для использования пациентами и их законными представителями, медицинскими специалистами и другими заинтересованными лицами.

Цель исследования — создание прикладного инструмента, предназначенного для решения задачи по информированию пациентов и их законных представителей о радиационных рисках, связанных с медицинским диагностическим облучением.

Материалы и методы

Для наиболее полного представления о радиационных рисках, связанных с медицинским диагностическим облучением, было решено включить в мобильное приложение результаты расчета четырех различных показателей риска:

– средняя индивидуальная эффективная доза;
– среднее число потерянных лет здоровой жизни на 10 000 человек;
– средний риск развития злокачественных новообразований с поправкой на степень тяжести заболевания на 10 000 человек;
– оценка риска с помощью качественной шкалы, дополненной цветографическим представлением значения риска.

Выбор указанных показателей обусловлен следующими соображениями:

1. В соответствии с определением, данным в статье 1 Федерального закона № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»[1], «Эффективная доза – величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности». Применение эффективной дозы как средней популяционной меры риска развития стохастических эффектов облучения в области обеспечения радиационной безопасности за последние 35 лет стало стандартом де-факто. Указанная величина не учитывает половозрастных различий риска, но позволяет быстро получить грубую предварительную оценку возможных негативных последствий воздействия радиации на здоровье на средне-популяционном уровне. Указанная величина хорошо знакома специалистам и является достаточно информативной в области очень низких уровней облучения.

[1] Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 18.03.2023) «О радиационной безопасности населения» [Federal Law No. 3-FZ dated 09.01.1996 (ed. 18.03.2023) “On Radiation Safety of the Public” (In Russ.)].

2. Среднее число потерянных лет здоровой жизни, взвешенных с учетом нетрудоспособности, представляет собой метрику DALY[2], используемую Всемирной организацией здравоохранения в рамках проекта «Глобальное бремя болезней» [7]. Это один из наиболее современных и информативных показателей популяционного здоровья, который находит всё более широкое применение в области оценки рисков, связанных с воздействием различных вредных факторов среды обитания [8–10].

3. Средний риск развития злокачественных новообразований с поправкой на степень тяжести заболевания, обозначенный в приложении как DAR[3], — это аналог показателя «Пожизненный радиационный риск смерти с учетом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания», который используется для характеристики риска в методических рекомендациях МР 2.6.1.0215-20[4]. Показатель DAR сопоставим напрямую с показателем, использованным в МР 2.6.1.0215-20, но рассчитан по более современным российским медико-демографическим данным с использованием более современной модели радиационного риска, описанной в Публикации 152 Международной комиссии по радиологической защите [11].

4. Качественная шкала риска также взята из МР 2.6.1.0215-20, однако ранжирование рисков по указанной шкале осуществляется с использованием показателя DAR.

Для формирования базы данных показателей радиационного риска были использованы оценки 17 719 значений органных доз, получаемых пациентами различного возраста при проведении медицинских диагностических исследований, представленных в таблице. Оценка органных и эффективных доз была выполнена с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [12] на основе протоколов рентгенорадиологических исследований, собранных специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в больницах Санкт-Петербурга в 2015–2018 гг. [13, 14].

Таблица

Перечень медицинских диагностических рентгенорадиологических исследований, оценки риска для которых представлены в разработанном мобильном приложении

[Table

A list of medical diagnostic radiological imaging procedures with the risk evaluations that are available in the developed mobile app]

№	Вид исследования [Type of examination]	Область исследования* [Examination area]	Особенности [Characteristics]	Возрастные группы** [Age groups]
1	Рентгенография [X-ray examinations]	Череп [Skull]	–	(0, 1, 5–85)
2		ШОП [Cervical Spine]		
3		ГОП [Thoracic Spine]		
4		ОГК [Chest]		
5		ПОП [Lumbar Spine]		
6		ОБП [Abdomen]		
7		Таз [Pelvis]		
8	Рентгеноскопия [Fluoroscopy]	Желудок [Stomach]		
9		Пищевод [Esophagus]		(5–85)
10	Ирригоскопия [Irrigoscopy]			
11	Интервенционное исследование [Interventional examinations]	Сосуды сердца [Coronary vessels]	–	(0, 1, 5–85)
12	Компьютерная томография [Computed tomography]	Голова [Head]		
13		Все тело [Whole body]		
14		ОГК [Chest]	без контраста [no contrast]	
15			с контрастом [with contrast]	
16		ОБП [Abdomen]	без контраста [no contrast]	
17			с контрастом [with contrast]	
18	ПЭТ/КТ [PET/CT]	Головной мозг [Brain]	С-метионин [C-methionine]	
19			F-ФДГ [F-FDG]	
20		Все тело [Whole body]		
21	Сцинтиграфия [Scintigraphy]	Легкие [Lungs]	^{99m}Tc-макротех [^{99m}Tc-MAA]	
22		Печень [Liver]	^{99m}Tc-бромезида [^{99m}Tc-IDA]	
23			^{99m}Tc-технефит [^{99m}Tc-labelled large colloids scintigraphy]	
24		Почки [Kidneys]	^{123}I-гиппуран [^{123}I-hippuran]	
25			^{99m}Tc-пентатех [^{99m}Tc-DPTA]	
26			^{99m}Tc-технемаг [^{99m}Tc-MAG3]	
27		Скелет [Skeleton]	^{99m}Tc-фосфаты [^{99m}Tc-phosphates and phosphonates]	
28		Щитовидная железа [Thyroid gland]	^{123}I-NaI	
29			^{99m}Tc-пертехнетат [^{99m}Tc-pertechnetate]	
30		Все тело [Whole body]	^{123}I-МИБГ [^{123}I-MIBG]	
31			^{67}Ga-цитрат [^{67}Ga-citrate]	(5–85)

[2] Disability-Adjusted Life Years – англ., годы жизни, взвешенные по нетрудоспособности.

[3] Detriment-Adjusted Risk – англ., риск, взвешенный с учетом ущерба.

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

Окончание таблицы 1

№	Вид исследования [Type of examination]	Область исследования* [Examination area]	Особенности [Characteristics]	Возрастные группы** [Age groups]
32	Флюорография [Screening chest X-ray]		Пленочная [Film-based]	(20–85)***
33			Цифровая [Digital]	

* Использованы следующие сокращения: ШОП – шейный отдел позвоночника; ГОП – грудной отдел позвоночника; ОГК – органы грудной клетки; ПОП – поясничный отдел позвоночника; ОБП – органы брюшной полости [The abbreviations are explained in Russian].

** Значения органных и эффективных доз облучения представлены для пациентов различного возраста с шагом в 5 лет. Для некоторых видов исследований представлены значения доз у пациентов возрастом 1 год. Некоторые виды исследований выполняются пациентам лишь начиная с определенного возраста [Organ and effective radiation dose values are provided for patients of different ages in 5-year increments. For some types of examinations, dose values are provided for 1-year-old patients. Certain examinations are only performed on patients starting from specific ages].

*** Флюорографические исследования выполняются, начиная с 18 лет. Однако в использованной для расчетов базе данных значения доз представлены с шагом в 5 лет. В разработанном мобильном приложении оценки риска представлены для пациентов с 18 лет [Fluorographic examinations are performed starting from age 18. However, in the database used for calculations, dose values are provided in 5-year increments. The developed mobile application presents risk assessments for patients aged 18 years and older]

Для расчета значений показателей риска было использовано специализированное программное обеспечение, разработанное в ходе выполнения НИР [15]. В результате выполнения расчетов были получены значения 2 444 показателей DALY и DAR для мужчин и женщин различного возраста, составившие, наряду с рассчитанными ранее значениями эффективных доз облучения, базу данных мобильного приложения.

Результаты

Разработанное мобильное приложение может работать на мобильных устройствах с операционной системой Android начиная с версии 8.0.0. На мобильных устройствах с другими операционными системами может использоваться web-версия приложения. Внешний вид разработанного мобильного приложения представлен на рисунке 2. Минималистичный дизайн интерфейса предполагает возможность переключения между тремя основными экранами приложения: «Одиночное исследование», «Серия исследований» и «Сохраненные серии». Программа имеет двуязычный интерфейс с возможностью легкого добавления дополнительных языковых модулей.

Поскольку различные виды исследований выполняются для разных анатомических областей и описываются разными наборами параметров, система меню контекстно-зависима, то есть наличие/отсутствие и содержание разделов выбора параметров исследований определяется выбранными видом и областью исследования (рис. 3).

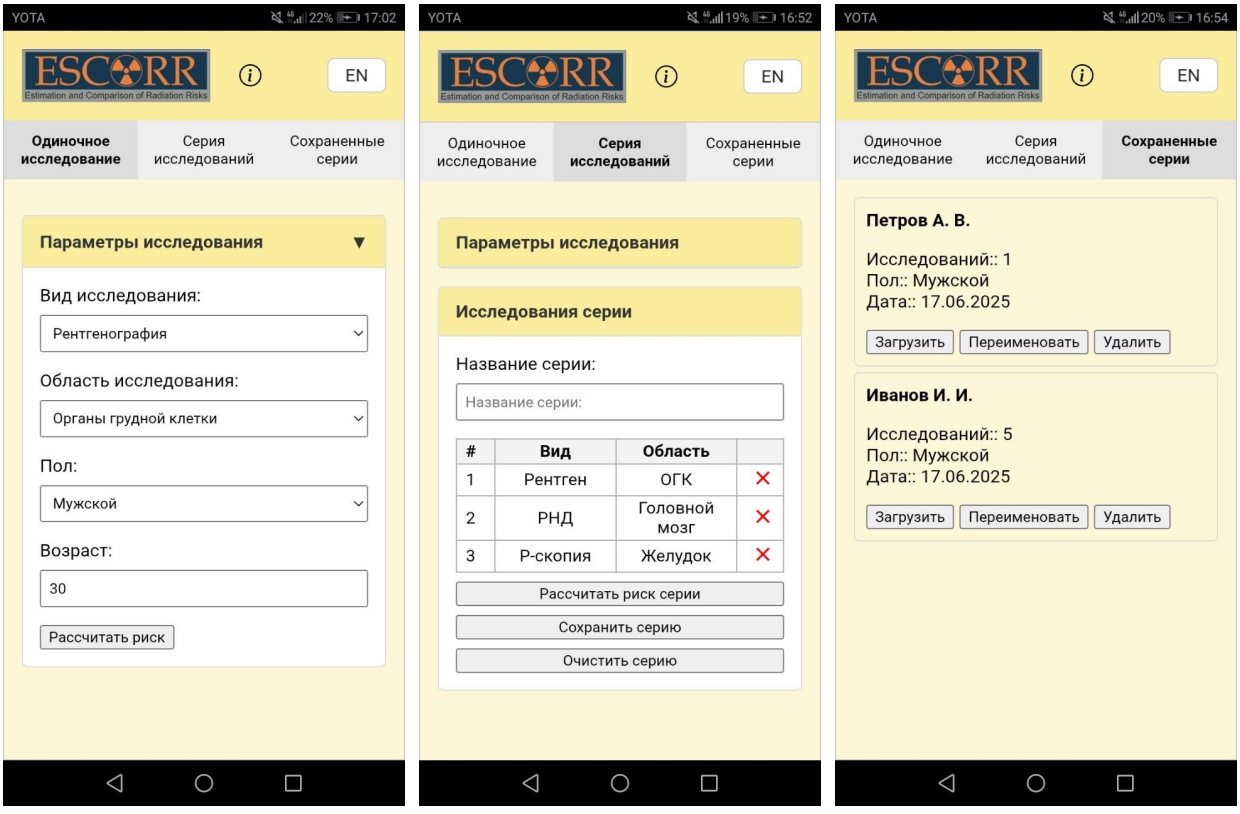


Рис. 2. Интерфейс мобильного приложения
[**Fig. 2**. Mobile application interface]

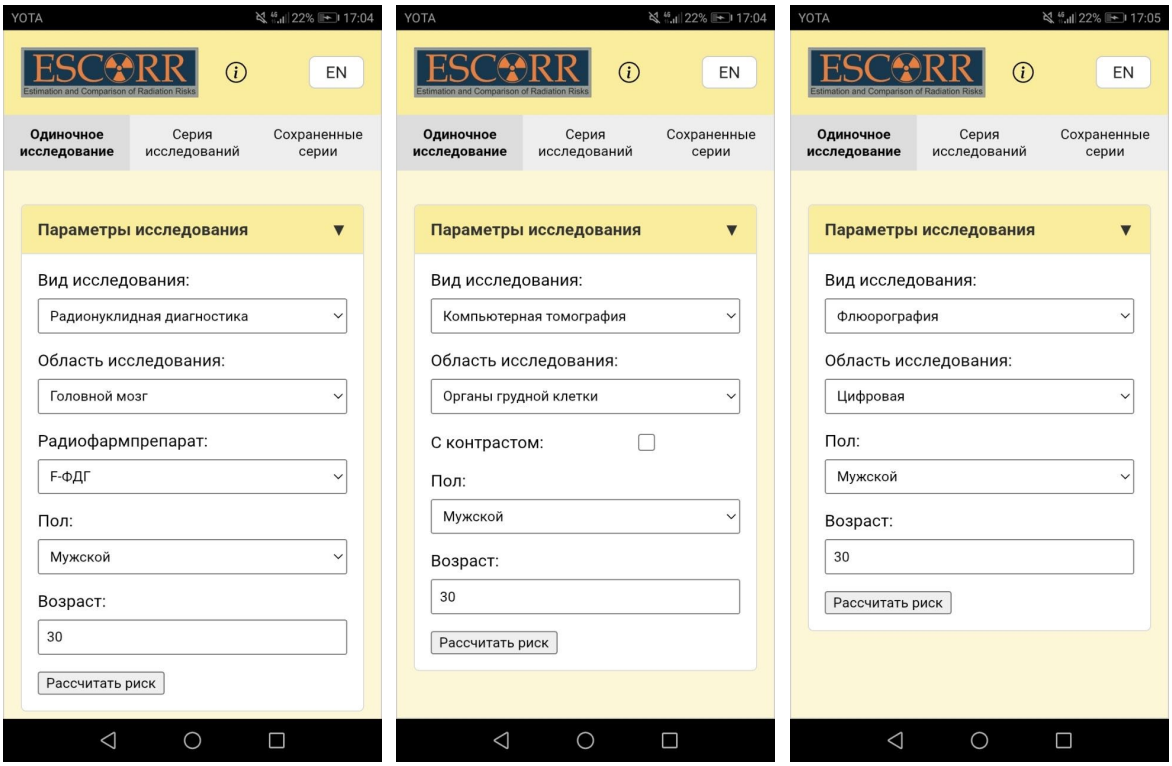


Рис. 3. Различие наборов параметров для разных видов исследований
[**Fig. 3.** Differences in the parameter sets for various examination types]

В программе предусмотрен ряд проверок и сообщений пользователю в случае указания несовместимого набора параметров. Например, если выбранное исследование не проводится в указанном пользователем возрасте, программа выдаст соответствующее предупреждение (рис. 4).

Окончание выбора параметров исследования пользователь подтверждает нажатием на кнопку расчета риска, в результате чего в нижней части экрана высвечиваются значения трех показателей риска и характеристика риска по качественной и цветографической шкале (рис. 5).

Особое внимание при разработке мобильного приложения было уделено обеспечению пользователей информацией, необходимой для адекватного понимания представленных результатов оценки риска. Система встроенных подсказок позволяет получать необходимые пояснения к назначению и смыслу приведенных показателей риска, дает представление о сопоставимости количественных значений с другими рисками. Описываются ограничения применимости показателей. Одно из условий при информировании о риске – избегать манипулятивности в подаче информации. Так, например, показатель числа потерянных лет здоровой жизни, отнесенный на 10 000 человек, может сформировать существенно заниженное понимание возможного риска для здоровья. Причина в том, что указанное число лет необходимо относить не ко всем 10 000 человек, а только к тем из них, у кого вероятно развитие радиационно-индуцированного рака. Т.е., например, для 90 % пациентов показатель DALY будет равен нулю, а для оставшихся 10 % риск будет в 10 раз больше рассчитанного среднего. Подобные разъяснения необходимы не только неквалифицированным пользователям, но и медицинским специалистам. При этом достоинство мобильного приложения заключается в том, что необходимое пояснение может быть получено непосредственно в области вывода результатов (рис. 6).

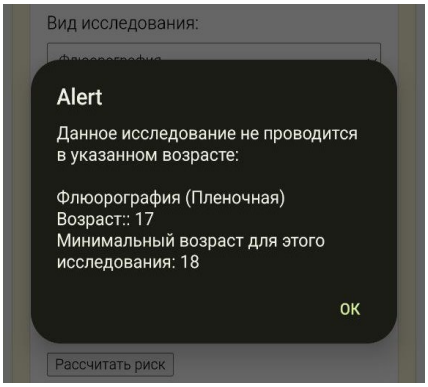


Рис. 4. Предупреждение приложения об ошибке ввода данных
[**Fig. 4.** Application's input error warning]

Рис. 5. Область отображения результатов оценки риска
[**Fig. 5.** Risk assessment results display area]

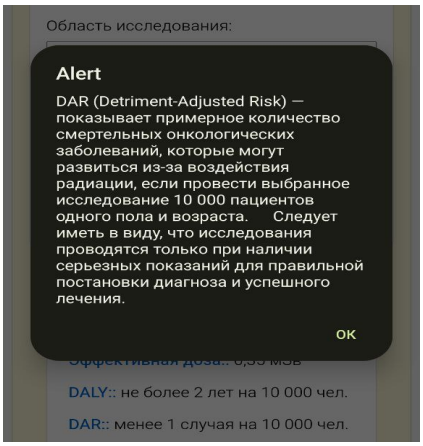


Рис. 6. Пример разъяснения смысла показателя риска
[**Fig. 6.** An example of explanation of the risk measure meaning]

В настоящее время разработанное мобильное приложение находится в стадии пробной эксплуатации, сбора информации о выявленных ошибках, неточностях, а также сбора пожеланий пользователей по совершенствованию и доработке функционала.

Обсуждение и перспективы развития

В условиях быстрого развития информационных технологий разработку нового программного продукта более уместно воспринимать не как конечную цель какого-то процесса, но, скорее, как первый шаг на пути решения некоторой актуальной задачи. Это в полной мере относится и к разработанному мобильному приложению. Основная цель выпуска первой версии мобильного приложения – создание прикладного инструмента для информационной работы с пациентами и их законными представителями по вопросам радиационных рисков, связанных с медицинским облучением. Одной из задач, требующих решения при разработке методических рекомендаций в области оценки радиационных рисков, является определение способов их практического применения. Разработанное мобильное приложение планируется испытать в медицинских организациях Санкт-Петербурга с целью получения обратной связи от пользователей (прежде всего – медицинских специалистов) для определения дальнейших путей развития проекта. На момент написания данной статьи благодаря полученной обратной связи удалось наметить ряд направлений совершенствования мобильного приложения. Среди наиболее важных задач при информировании о рисках, связанных с медицинским облучением, можно выделить следующие:

1) В первую очередь необходимо максимально понятно пояснить, с какими известными повседневными рисками сопоставимы представленные количественные значения. В большинстве случаев речь идет о рисках на уровне, воспринимаемом большинством людей, как абсолютно безопасный.

2) Важно акцентировать внимание пациента на том, что наиболее важным критерием при выборе и назначении метода медицинской диагностики является получение качественной диагностической информации, определяющей шансы на успешную постановку диагноза и эффективность лечения, и что риск постановки неправильного диагноза и при применении менее информативных методов диагностики существенно выше, чем вероятность развития негативных последствий от воздействия радиации.

3) Также важно донести до пользователя случайный статистический характер возможных негативных последствий и усредненный по большой численности пациентов риск. Так, значения доз облучения, получаемые в ходе выполнения различных исследований и сообщаемые пациенту в медицинском учреждении, могут отличаться от справочных значений, представленных в программе. Этот момент требует четкого разъяснения, чтобы избежать ситуации, в которой пациент может испытать психологический дискомфорт, полагая, что его «переоблучили», если доза оказалась выше справочной, или сделали «некачественное исследование», если доза оказалась ниже.

4) В дальнейшем полезно дополнить оценку радиационного риска значениями нерадиационных рисков, сопровождающих исследование, такими, например, как аллергия на контрастное вещество и т.п.

5) По мере появления более новой информации о дозах облучения, о методах диагностики, не вошедших в разработанное мобильное приложение, данные в программе планируется актуализировать.

Совершенствование мобильного приложения будет осуществляться на основе результатов анализа замечаний и предложений, собранных в период пробной эксплуатации.

Заключение

Создание мобильного приложения по оценке рисков при медицинском облучении стало первым результатом практического применения методик оценки риска, разработанных авторами, с целью создания простого инструмента информационной поддержки пациентов, их законных представителей, медицинских специалистов и широкого круга заинтересованных лиц.

Специализированные мобильные приложения представляют собой современную, динамичную, высоко функциональную и эффективную альтернативу бумажным информационно-методическим документам и их электронным копиям. К преимуществам мобильных приложений относится возможность представления различных показателей риска и пояснений к ним в удобном для использования виде, без необходимости поиска результатов оценки в различных громоздких таблицах и пояснений к используемым показателям в специальных методических разделах. Это позволяет в кратчайшие сроки получить более развернутое представление о характере рисков и адекватном восприятии полученных результатов оценки риска.

В настоящее время мобильное приложение проходит регистрацию в Роспатенте и решается вопрос о распространении программы с помощью магазинов мобильных приложений после внесения первичных исправлений, сделанных с учетом замечаний, полученных в ходе тестовой эксплуатации.

Желающие принять участие в тестировании разработанного мобильного приложения для операционной системы Android могут связаться с авторами статьи для получения наиболее актуальной версии приложения и высказывания пожеланий и предложений к его будущему функционалу.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Репин Л.В. определил цели и задачи работы, подготовил промежуточный вариант рукописи.

Библин А.М. редактировал промежуточный вариант рукописи, подготовил окончательный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование прикладных методов оценки радиационных рисков для здоровья населения при различ-

ных ситуациях и сценариях облучения на основе современных подходов к оценке радиационного ущерба».

Литература

1. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I. Annex A. Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. New York: United Nations, 2021. 344 p.
2. Mahesh M., Ansari A., Mettler F. Patient Exposure from Radiologic and Nuclear Medicine Procedures in the United States and Worldwide: 2009–2018 // Radiology. 2023. Vol. 307, № 1. P. e221263. DOI:10.1148/radiol.221263.
3. Водоватов А.В., Романович И.К., Алехнович А.В. и др. Обеспечение радиационной безопасности пациентов в Российской Федерации при диагностическом медицинском облучении: текущее состояние, проблемы и решения // Медицинская физика. 2024. № 4. С. 33-49. DOI:10.52775/1810-200x-2024-104-4-33-49.
4. Юдин А.Л., Никитин А.Э., Юматова Е.А. Роль информированного добровольного согласия при компьютерной томографии // Лучевая диагностика и терапия. 2017. Т 4, № 8. С. 77-86.
5. Schieber C., Pölzl-Viol C., Cantone M. et al. Engaging health professionals and patients in the medical field: role of radiological protection culture and informed consent practices // Radioprotection. 2020. Vol. 55. P. 235-S242. DOI:10.1051/radiopro/2020039.
6. Smith-Bindman R., Chu P., Azman Firdaus H. et al. Projected lifetime cancer Rrisks from current computed tomography imaging // JAMA Internal Medicine. 2025. Vol. 185, № 6. P. 710. DOI: 10.1001/jamainternmed.2025.0505.
7. Global burden of disease 2004 update: disability weights for diseases and conditions. Geneva: WHO, 2004.
8. Gao T., Wang X., Chen R. et al. Disability adjusted life year (DALY): A useful tool for quantitative assessment of environmental pollution // Science of The Total Environment. 2015. Vol. 511. P. 268-287. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.048.
9. Кочетков Д.В., Стерликов С.А., Люцко В.В. Оценка бремени туберкулёза в Ямало-Ненецком автономном округе и факторов, влияющих на величину DALY, YLL, YLD // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2025. № 1. С. 415-436. DOI: 10.24412/2312-2935-2025-1-415-436.
10. Thomsen S.T., Jakobsen L.S., Redondo H.G. et al. Burden of Disease of Dietary Exposure to Four Chemical Contaminants in Denmark, 2019 // Exposure and Health. 2022. Vol. 14, No 4. P. 871-883. DOI: 10.1007/ s12403-022-00461-9.
11. Radiation detriment calculation methodology. ICRP. ICRP Publication 152. 2022 // Annals of the ICRP. 2022. Vol. 51, No 3. P. 103.
12. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical X-ray examinations. 2nd Ed. STUK: Finalnd, 2008.
13. Водоватов А.В., Голиков В.Ю., Камышанская И.Г. и др. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 1. С. 93-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100.
14. Vodovatov A., Golikov V., Kamyshanskaya I. et al. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast // Radiation Protection Dosimetry. 2021. Vol. 195, No 3-4. P. 264-272. DOI: 10.1093/rpd/ncab059
15. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Репин В.С. Разработка автоматизированной системы анализа радиационных рисков: цели, задачи и перспективы развития // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 22-31. DOI: 10.21514/1998426X20231642231

Поступила: 16.07.2025

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

ORCID: 0000-0002-4857-6792

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

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Для цитирования: Репин Л.В., Библин А.М. О разработке мобильного приложения для оценки радиационного риска, связанного с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 112–119. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-112-119

Development of a mobile application for assessing radiation risk associated with medical X-ray radiological examinations

Leonid V. Repin, Artem M. Biblin

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

The use of ionizing radiation is one of the most rapidly developing areas in medical diagnostics; it has led to a steady increase in both the number of examinations and the collective dose of medical exposure in recent years. In this regard, improving access to reliable scientific information on radiation risks associated

Leonid V. Repin
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E–mail: l.repin@niirg.ru

with medical exposure is a relevant and timely objective. The aim of this study is to describe a mobile application developed for assessing radiation risk associated with medical X-ray radiological examinations for patients of different sexes and ages from the Russian population. Materials and Methods: To provide a comprehensive representation of radiation risks from diagnostic medical exposure, the mobile application incorporates results based on four different risk indicators: average individual effective dose; average number of disability-adjusted life years lost; average risk of developing malignant neoplasms adjusted for disease severity; and a qualitative risk scale supplemented with color-coded visual representation of risk magnitude. To build the database of radiation risk indicators, a total of 17,719 organ dose estimates were used. These were obtained for patients of various ages undergoing diagnostic medical examinations. Results and Discussion: The developed mobile application features a bilingual interface with the option to add additional language modules. Its minimalist design allows switching between three main screens: "Single Study", "Study Series", and "Saved Series". Conclusion: The development of this mobile application for radiation risk assessment represents the first practical implementation of the risk assessment methodologies developed by the authors, with the goal of creating a simple tool to support information accessibility for patients, their legal representatives, healthcare professionals, and a wide range of interested users.

Key words: *medical exposure, radiation risk, radiation detriment, DALY, mobile application.*

Authors' personal contribution

Repin L.V. defined the research objectives and tasks, prepared the preliminary manuscript draft.

Bilbin A.M. edited the preliminary manuscript draft and prepared the final manuscript version.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

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

References

1. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I. Annex A. Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. New York: United Nations; 2021. 344 p.
2. Mahesh M, Ansari A, Mettler F. Patient Eexposure from radiologic and nuclear medicine. Procedures in the United States and worldwide: 2009–2018. *Radiology*. 2023;307(1): e221263. DOI: 10.1148/radiol.221263Mahesh.
3. Vodovatov AV, Romanovich IK, Alekhnovich AV, Biblin AM, Akhmatdinov RR, Druzhinina PS, et al. Radiation Safety of Patients in Diagnostic Radiology in the Russian Federation: Current Status, Problems and Solutions. *Meditsinskaya Fizika = Medical Physics.* 2024(4): 33-49. (In Russian). DOI:10.52775/1810-200x-2024-104-4-33-49
4. Yudin AL, Nikitin AE, Yumatova EA. The role of informed consent in CT scan. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya = Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2017;4(8): 77-86. (In Russian).
5. Schieber C, Pölzl-Viol C, Cantone M, Železnik N, Economides S, Gschwind R, et al. Engaging health professionals and patients in the medical field: role of radiological protection culture and informed consent practices. *Radioprotection*. 2020;55: 235-242. DOI:10.1051/radiopro/2020039.
6. Smith-Bindman R, Chu P, Azman Firdaus H, Stewart C, Malekhedayat M, Alber S, et al. Projected lifetime cancer risks from current computed tomography imaging. *JAMA Internal Medicine*. 2025;185(6): 710. DOI:10.1001/jamainternmed.2025.0505
7. Global burden of disease 2004 update: disability weights for diseases and conditions. Geneva: WHO; 2004.
8. Gao T, Wang X, Chen R, Ngo H, Guo W. Disability adjusted life year (DALY): A useful tool for quantitative assessment of environmental pollution. *Science of The Total Environment*. 2015;511: 268-287. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.048
9. Kochetkov DV, Sterlikov SA, Liutsko VV. Assessment of the burden of tuberculosis in the Yamal-Nenets autonomous okrug and factors influencing the value of DALY, YLL, YLD. *Sovremennye Problemy Zdravookhraneniya i Meditsinskoy Statistiki = Current Problems of Health Care and Medical Statistics*. 2025;(1): 415-436. (In Russian) DOI: 10.24412/2312-2935-2025-1-415-436
10. Thomsen ST, Jakobsen LS, Redondo HG, Outzen M, Fagt S, Devleesschauwer B, et al. Burden of disease of dietary exposure to four chemical contaminants in Denmark, 2019. *Exposure and Health*. 2022;14(4): 871-883. DOI: 10.1007/s12403-022-00461-9
11. Radiation detriment calculation methodology. ICRP. ICRP Publication 152. 2022. *Annals of the ICRP*. 2022;51(3): 103.
12. Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical X-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finalnd; 2008.
13. Vodovatov AV, Golikov VYu, Kamyshanskaya IG, Zinkevich KV, Bernhardsson Ch. Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(1): 93-100. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100
14. Vodovatov A, Golikov V, Kamyshanskaya I, Cheremysin V, Zinkevich K, Bernhardsson K. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 264-272. https://doi.org/10.1093/rpd/ncab059
15. Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Repin VS. Development of the Automated System for Radiation Risk Analysis: goals, tasks and the vision for progress. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 22-31. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-22-31

Received: July 16, 2025

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

ORCID: 0000-0002-4857-6792

Artem M. Biblin – senior research fellow, head of Information-analytical center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-3139-2479

For citation: Repin L.V., Biblin A.M. Development of a mobile application for assessing radiation risk associated with medical X-ray radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 112–119. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-112-119

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-120-129
УДК: 546.36:631.42

Исследование возможностей детектора на основе кристалла бромида лантана для оценки удельной активности цезия–137 в глубоких слоях почвы

Разин К.А., Варфоломеева К.В., Седнев К.А., Репин В.С., Зеленцова С.А.

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

В ходе проведения экспедиционных радиационно-гигиенических исследований территорий часто возникает необходимость оценки удельной активности радионуклидов в почве на глубинах более 20 см, что сопряжено с определёнными методическими и техническими трудностями при отборе проб. Целью настоящего исследования являлось проведение серии градуировочных измерений и оценка возможностей коллимированного сцинтилляционного детектора для количественного определения удельной активности ^{137}Cs в грунте на различных глубинах в скважинах in situ. Материалы и методы: Для гамма-спектрометра МКСП-01 «РАДЭК» с кристаллом $LaBr_3(Ce)$ была проведена комплексная градуировка, включающая исследование осевой чувствительности и эффективности регистрации радионуклида ^{137}Cs как от точечного источника, так и от объемного источника почвы с известной активностью. Это позволило определить оптимальные параметры измерений, включая расстояния между коллиматорами, и градуировочные коэффициенты для точного определения удельной активности на различных расстояниях и с разным объемом образца. Результаты исследования и обсуждение: В данной статье представлены результаты градуировки детектора на основе кристалла $LaBr_3(Ce)$ размером ∅ 30 х 30 мм, предназначенного для измерения интенсивности гамма-излучения ^{137}Cs в скважинах на глубинах до 1 м. Проведённые градуировочные измерения показали, что конструкция детектора позволяет измерять удельные активности ^{137}Cs от 200 Бк/кг в скважинах диаметром 90 мм с эффективностью регистрации пика ^{137}Cs около 0,1 % и временем измерения 30 мин. Детектор обеспечивает надежное обнаружение слоёв почвы с удельной активностью выше минимально значимой удельной активности. Заключение: Коллиматоры, обеспечивающие доступ гамма-излучения к открытой части кристалла $LaBr_3(Ce)$, позволяют регулировать толщину исследуемого слоя почвы (ширину обзора горизонта) в процессе измерения. При расстоянии между коллиматорами 1,5 см детектор позволяет изучать горизонты удельной активности почвы с шагом 5 см, при увеличении расстояния до 2 см – с шагом 10 см.

Ключевые слова: *полевая гамма-спектрометрия, радионуклидное загрязнение, техногенные радионуклиды, ^{137}Cs, удельная активность, почва, градуировка спектрометра.*

Введение

Полевая спектрометрия, как один из методов изучения радионуклидного состава выпадений и загрязнения почвы, широко используется при проведении радиологических исследований [1–6]. В частности, данный метод нашел применение при обследовании территорий в местах проведения мирных ядерных взрывов [7, 8] на территориях, подвергшихся аварийному радиоактивному загрязнению [9].

Наряду с полевой спектрометрией, для точной количественной характеристики радиоактивного загрязнения существует метод отбора проб почвы, позволяющий в лабораторных условиях определять содержание в почве альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов [10]. Следует, однако, отметить, что отбор проб почвы, при всех его достоинствах, сопряжен с трудностями на глубинах более 20 см, поэтому имеется целый класс приборов и методов проведения спектрометрических исследований в скважинах [11]. Наибольшее распространение данные методы нашли в геологоразведке с целью поиска урановых месторождений [12, 13], при определении целостности скважин (гамма-толщинометрия) [14, 15], плотностном гамма-каротаже [16, 17], нейтронном и нейтронно-активационном каротаже [18]. Все перечисленные каротажные методы направлены на поиск природных ископаемых.

Публикации по методам исследования содержания техногенных радионуклидов в скважинах встречаются редко, поскольку в большинстве случаев техногенные радионуклиды, как правило, расположены в верхних горизонтах почвы в слое до 20 см. В литературе приводится случай применения метода глубинного зондирования ^{137}Cs на территории, прилегающей к месту проведения мирного ядерного взрыва Глобус-1 (Ивановская область), проведенного с внештатным аварийным выбросом радионуклидов на поверхность. В процессе обустройства инженерных барьеров значительная часть аварийно-загрязненной почвы была погребена в толстом слое грунта, поэтому для радиационно-гигиенической оценки потенциальной опасности важно было,

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

во-первых, определить наличие техногенных радионуклидов на глубинах более 20 см [7], а во-вторых, оценить наличие почвы с уровнями загрязнения ^{137}Cs на уровне и выше минимально-значимой удельной активности (МЗУА) в соответствии с критериями НРБ-99/2009 [1].

В этом исследовании был использован детектор на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) с размером кристалла Ø 30 x 30 мм, размещенный в штанге длиной 73,5 см. Спектрометр и программное обеспечение к нему был изготовлен по заказу ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в рамках выполнения работ по контракту с ФМБА № 81.005.14.2 от 17 февраля 2014 г. по программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Предварительные качественные результаты цитируемых работ показали, что для точной оценки удельной активности почвы на разных глубинах необходимо учитывать диаметр скважины, расстояние между коллиматорами, влияние на результат измерений активности в слоях почвы, расположенных выше и ниже измеряемого. Таким образом, для корректного практического применения данного прибора требуется проведение градуировочных измерений.

Цель исследования – проведение градуировочных измерений скважинного гамма-детектора на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) для оценки удельной активности ^{137}Cs на различных глубинах.

Материалы и методы

Градуировка была выполнена для гамма-спектрометра марки МКСП-01 «РАДЭК» (Россия), оснащенного детектором с кристаллом $LaBr_3$(Ce) (рис. 1). Образец детектора был изготовлен в Научно-техническом центре «РАДЭК» по заказу ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева для лаборатории экологии и оснащен мобильным программным обеспечением ASpectrum.

Выбор детектора на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) связан с тем, что данный тип детектора имеет более высокое разрешение для фотопика ^{137}Cs по сравнению с кристаллом NaI(Tl), что, в свою очередь, позволяет легко отделить пик ^{137}Cs от пиков природных радионуклидов, в частности, ^{214}Bi и ^{208}Tl.

Оценка и вычитание собственного фона детектора на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) выполнена посредством измерений счета детектора в толстостенной (15 см) стальной защите.

Программа градуировки включала, прежде всего, определение точного местоположения центра кристалла для последующей более точной установки коллиматоров детектора относительно данного центра. На втором этапе исследовалась зависимость скорости счета детектора от местоположения точечного источника, расположенного на различных расстояниях от оси детектора при различных расстояниях между коллиматорами. На третьем этапе исследовалась зависимость эффективности регистрации ^{137}Cs в слое почвы с известной удельной активностью в зависимости от диаметра окружающего детектор слоя. Выполнение первых двух задач позволяло выяснить, как расстояние между коллиматорами влияет на телесный угол обзора детектора, то есть эффективную толщину измеряемого слоя почвы.

Центр кристалла определялся с помощью точечного источника ^{137}Cs из набора образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ) с активностью около 40 кБк. Точечный источник помещался в свинцовый цилиндр, благодаря чему создавался направленный пучок излучения в сторону детектора. Для отсчета смещения вдоль оси детектора использовалась линейка, начало которой совмещалось с концом штанги диаметром 4 см. Перемещение точечного источника выполнялось с шагом 0,5 см.

Исследование осевой чувствительности детектора, средняя часть которого располагалась между цилиндрическими свинцовыми коллиматорами с внутренним диаметром 4 см и наружным диаметром 8 см, проводилось также с помощью точечного источника, перемещаемого на различных расстояниях вдоль оси штанги (рис. 1). Шаг смещения источника вдоль оси составлял 1 см, а перпендикулярно оси – 5 см (начальное расстояние точечного источника от оси детектора составляло примерно 5 см.

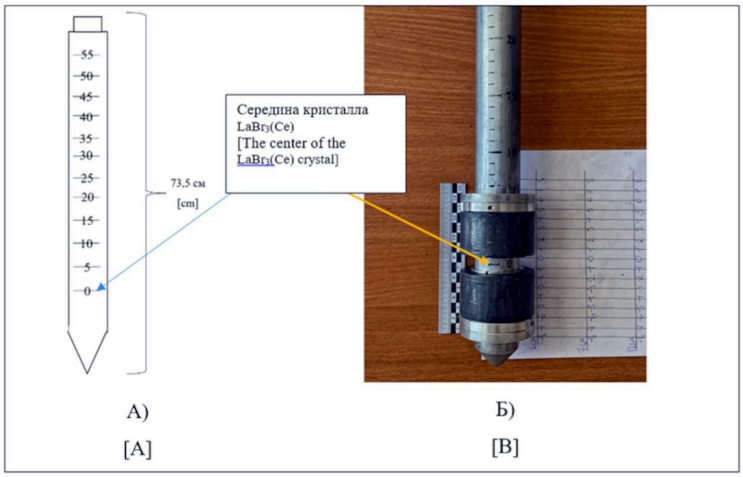


Рис. 1. Схематическое изображение штанги скважинного гамма-спектрометра МКСП-01 «РАДЭК» (А) и схема исследования чувствительности коллимированного детектора на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) к излучению на различных расстояниях точечного источника ^{137}Cs (Б)

[**Fig. 1.** Schematic representation of the borehole gamma-spectrometer rod MKSP-01 "RADEK" (A) and the scheme for the study of the sensitivity of the collimated $LaBr_3$(Ce) detector to radiation from a ^{137}Cs point source at various distances (B)]

[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 No 47 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный No 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 14.08.2009, registration No. 14534). (In Russ.)].

Исследование чувствительности детектора к ^{137}Cs в объемном источнике почвы высотой 10 см (рис. 2) проводилось посредством размещения детектора с коллиматорами в середине пустой цилиндрической перегородки диаметром 9 см, за пределами которой располагались на расстояниях между стенками 5 см три дополнительные перегородки, между которыми насыпался слой почвы шириной 5 см, высотой 10 см и удельной активностью 6 540 ± 460 Бк/кг. Результаты гамма-спектрометрии данной почвы, отобранной на загрязненной территории, представлены в таблице 1.

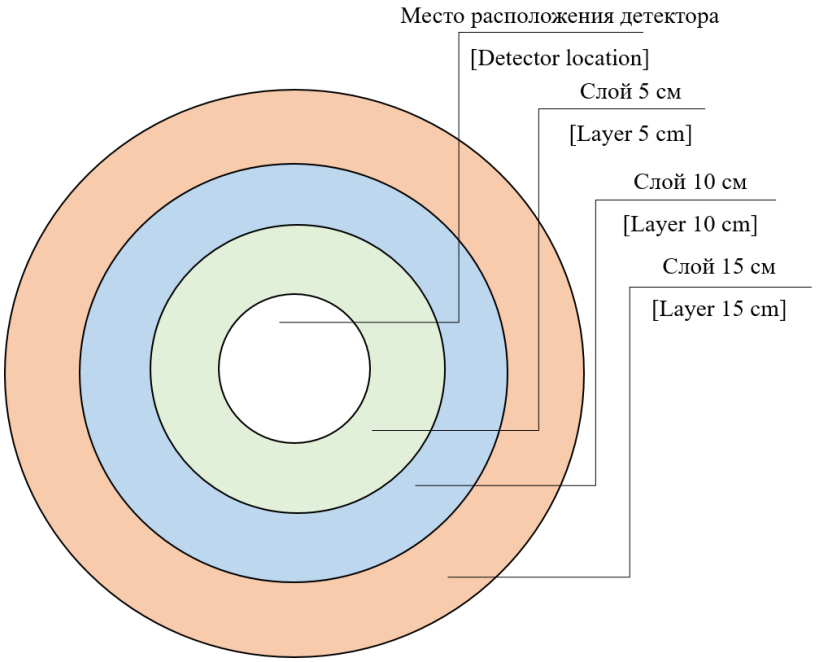


Рис. 2. Схема исследования чувствительности коллимированного детектора к объемному источнику ^{137}Cs
[Fig. 2. Scheme of the study of the collimated detector sensitivity to a volumetric source of ^{137}Cs]

Таблица 1

Результаты гамма-спектрометрии пробы почвы, используемой для градуировки скважинного детектора

[Table 1

Results of gamma spectrometry of the soil sample used for calibration of the borehole detector]

Время измерения, с [Time measurement, s]	Объем, мл [Volume, ml]	Масса, г [Mass, g]	Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg]			
			^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
1784	1000	796	6540 ± 460	520 ± 55	34 ± 7	42 ± 5

Измерения эффективности регистрации – соотношения скорости счета и удельной активности ^{137}Cs – в зависимости от радиуса окружающего слоя почвы проводилось путем последовательного заполнения пространства между цилиндрами, что позволяло определить эффективный радиус слоя, после которого эффективность мало зависит от его увеличения.

Скорость счета ^{137}Cs (^{137m}Ba) для всех выполненных измерений определялась по площади фотопика с энергией 662 кэВ (за вычетом площади пьедестала).

Статистическая обработка результатов измерений и графические построения выполнялись средствами MS Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений, выполненных с целью определения точного местоположения середины кристалла по максимуму кривой зависимости скорости счета ^{137}Cs(^{137m}Ba) под фотопиком от положения направленного источника излучения, перемещаемого параллельно оси детектора, представлены в таблице 2.

Из представленных в таблице 2 результатов видно, что середина кристалла $LaBr_3$(Ce) находится на отметке 7,5 см от конца штанги, что позволяет проводить точную установку коллиматоров. Данная отметка в дальнейших исследованиях принималась за нулевую точку отсчета.

Исследования чувствительности коллимированного детектора к излучению точечного источника (рис. 1) проводились для ширины неколлимированной части детектора 2 и 1,5 см. Источник цезия перемещался вдоль оси от центральной части кристалла к периферии. Результаты измерений представлены в таблице 3 и на рисунках 3 и 4 соответственно.

Таблица 2

Скорость счета детектора при различных положениях точечного источника вдоль оси штанги детектора

[Table 2

Count rate of the detector as a function of the axial position of a point source along the detector rod]

Расстояние по оси от конца штанги, см [Axial distance from the end of the rod, cm]	Скорость счета, имп/с [Count rate, cps]	Расстояние по оси от конца штанги, см [Axial distance from the end of the rod, cm]	Скорость счета, имп/с [Count rate, cps]
0–9 см [cm]		9,5–18 см [cm]	
0	1,30 ± 0,04	9,5	14,7 ± 0,3
0,5	1,40 ± 0,04	10	11,2 ± 0,3
1	1,20 ± 0,04	10,5	7,10 ± 0,21
1,5	1,30 ± 0,05	11	3,60 ± 0,14
2	1,2 ± 0,10	11,5	1,90 ± 0,10
2,5	1,4 ± 0,11	12	1,00 ± 0,10
3	2,00 ± 0,11	12,5	1,00 ± 0,10
3,5	2,40 ± 0,12	13	1,20 ± 0,10
4	3,00 ± 0,14	13,5	1,30 ± 0,05
4,5	4,80 ± 0,18	14	1,30 ± 0,05
5	6,90 ± 0,21	14,5	1,30 ± 0,04
5,5	11,4 ± 0,27	15	1,50 ± 0,04
6	14,8 ± 0,32	15,5	1,40 ± 0,05
6,5	17,6 ± 0,3	16	1,50 ± 0,05
7	20,1 ± 0,4	16,5	1,5 ± 0,1
7,5	19,8 ± 0,4	17	1,4 ± 0,1
8	19,7 ± 0,4	17,5	1,40 ± 0,05
8,5	18,8 ± 0,4	18	1,30 ± 0,05
9	17,3 ± 0,3	–	

Таблица 3

Скорость счета коллимированного детектора вдоль его оси при изменении ширины неколлимированной части при различных положениях точечного источника (ширина неколлимированной части b_1=2 см, ширина неколлимированной части b_2=1,5 см)

[Table 3

The count rate of the collimated detector along its axis with change in the width of the non-collimated part at different positions of a point source (the width of the non-collimated part b_1 is 2 cm, width of the non-collimated part b_2 is 1.5 cm)]

Расстояние*, см [Distance*, cm]	Расстояние от края коллиматора (перпендикулярно оси) [Distance from the edge of the collimator (perpendicular to the axis)]							
	b_1 2 см [cm]	b_2 2 см [cm]	b_1 7 см [cm]	b_2 7 см [cm]	b_1 12 см [cm]	b_2 12 см [cm]	b_1 17 см [cm]	b_2 17 см [cm]
	имп/с [cps]							
-8	0,63 ± 0,03	2,44 ± 0,07	4,45 ± 0,14	1,39 ± 0,08	5,72 ± 0,20	1,91 ± 0,07	4,33 ± 0,01	1,90 ± 0,05
-7	1,07 ± 0,05	1,76 ± 0,07	7,69 ± 0,17	2,08 ± 0,07	7,09 ± 0,20	2,68 ± 0,10	4,90 ± 0,21	2,41 ± 0,07
-6	1,80 ± 0,11	1,63 ± 0,06	12,3 ± 0,4	2,85 ± 0,09	8,03 ± 0,20	3,55 ± 0,08	4,90 ± 0,23	2,76 ± 0,07
-5	4,50 ± 0,20	2,73 ± 0,08	16,7 ± 0,4	4,53 ± 0,13	8,62 ± 0,20	4,85 ± 0,20	4,89 ± 0,26	3,23 ± 0,07
-4	15,6 ± 0,7	5,24 ± 0,12	19,7 ± 0,5	7,55 ± 0,25	9,71 ± 0,30	5,83 ± 0,13	5,04 ± 0,18	3,65 ± 0,12
-3	66,2 ± 1,6	9,71 ± 0,30	22,6 ± 0,5	12,2 ± 0,4	9,84 ± 0,30	7,18 ± 0,20	5,54 ± 0,20	4,06 ± 0,10
-2	93,4 ± 1,50	20,7 ± 0,4	24,2 ± 0,4	17,2 ± 0,5	10,2 ± 0,3	7,92 ± 0,20	5,47 ± 0,23	4,69 ± 0,12
-1	112,0 ± 1,7	71,5 ± 1,5	24,6 ± 0,6	21,4 ± 0,4	10,4 ± 0,3	8,89 ± 0,3	5,63 ± 0,25	4,69 ± 0,11
0	114 ± 2,0	91,6 ± 1,3	25,3 ± 0,5	23,1 ± 0,6	10,0 ± 0,3	9,68 ± 0,20	5,56 ± 0,20	5,04 ± 0,11
1	96,4 ± 1,3	87,3 ± 1,2	24, ± 0,3	23,3 ± 0,7	10,2 ± 0,3	9,75 ± 0,18	5,52 ± 0,16	5,15 ± 0,14

Окончание таблицы 3

Расстояние*, см [Distance*, cm]	Расстояние от края коллиматора (перпендикулярно оси) [Distance from the edge of the collimator (perpendicular to the axis)]							
	b_1 2 см [cm]	b_2 2 см [cm]	b_1 7 см [cm]	b_2 7 см [cm]	b_1 12 см [cm]	b_2 12 см [cm]	b_1 17 см [cm]	b_2 17 см [cm]
	имп/с [cps]							
2	81,9 ± 1,4	20,7 ± 0,5	23,1 ± 0,6	20,8 ± 0,3	9,91 ± 0,20	9,64 ± 0,20	5,48 ± 0,18	5,19 ± 0,14
3	41,5 ± 1,0	12,2 ± 0,2	21,4 ± 0,4	15,3 ± 0,3	9,63 ± 0,30	8,54 ± 0,25	5,18 ± 0,16	4,92 ± 0,14
4	7,46 ± 0,30	5,37 ± 0,16	19,6 ± 0,5	10,8 ± 0,2	9,24 ± 0,30	7,27 ± 0,22	5,06 ± 0,17	4,33 ± 0,18
5	1,73 ± 0,10	2,45 ± 0,08	15,7 ± 0,5	6,14 ± 0,15	8,88 ± 0,23	5,91 ± 0,17	5,25 ± 0,15	4,02 ± 0,14
6	0,57 ± 0,05	1,07 ± 0,03	11,1 ± 0,4	3,71 ± 0,11	8,05 ± 0,23	5,22 ± 0,20	4,72 ± 0,16	3,46 ± 0,14
7	0,29 ± 0,03	0,54 ± 0,03	7,22 ± 0,25	2,36 ± 0,08	7,20 ± 0,17	4,00 ± 0,15	4,64 ± 0,16	2,97 ± 0,12
8	0,18 ± 0,02	0,50 ± 0,02	4,2 ± 0,2	1,28 ± 0,05	6,01 ± 0,12	2,81 ± 0,09	4,37 ± 0,17	2,66 ± 0,10

* Расстояние от центра кристалла вдоль оси, см [* Radial distance from the center of the crystal along the axis, cm]

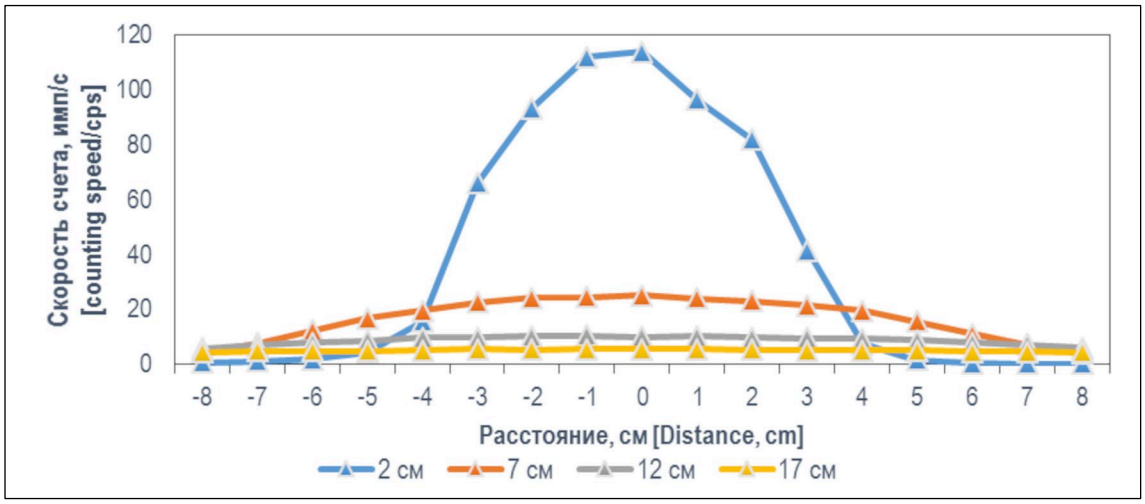


Рис. 3. Зависимость скорости счета коллимированного (ширина 2 см) детектора от расстояния точечного источника от оси и центра кристалла - (b_1)

[**Fig. 3.** Dependence of the count rate of the collimated (width 2 cm) detector on the distance of a point source from the axis and the center of the crystal - (b_1)]

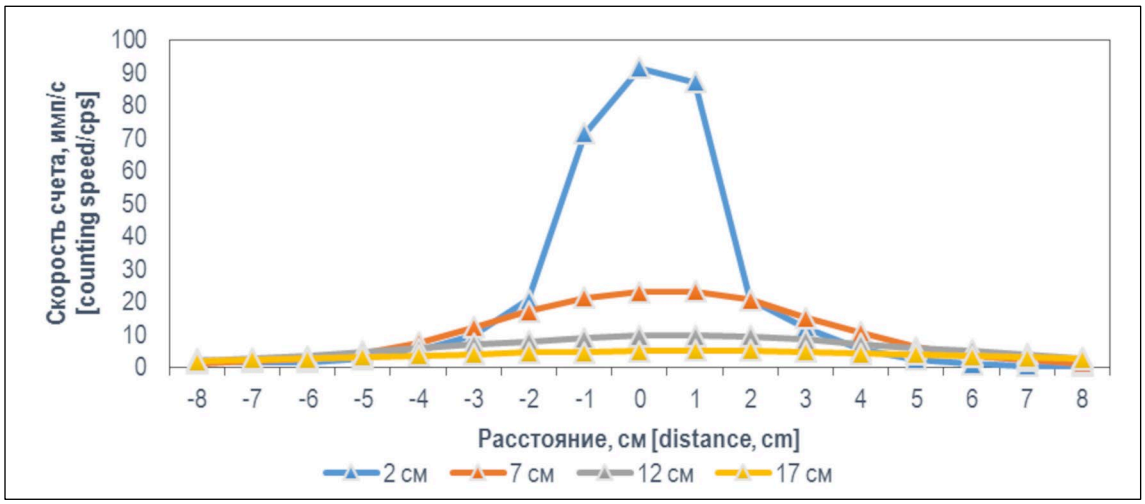


Рис.4. Зависимость скорости счета коллимированного (ширина 1,5 см) детектора от расстояния точечного источника от оси и центра кристалла - (b_2)

[Fig. 4. Dependence of the count rate of a collimated (width 1.5 cm) detector on the distance of a point source from the axis and the center of the crystal - (b_2)]

Из сопоставления результатов измерений, представленных на рисунках 3 и 4, видно, что при ширине неколлимированной части кристалла детектора 1,5 см телесный угол открытой части детектора охватывает с максимальной эффективностью 5-ти сантиметровую зону обзора при минимальном удалении точечного источника от оси детектора, тогда как при ширине неколлимированной части 2 см ширина зоны обзора увеличивается до 10 см, но эффективность регистрации импульсов становится выше.

Оценка эффективности регистрации коллимированного детектора в объемном источнике ^{137}Cs толщиной 5 см проводилась для радиусов засыпки, соответствующих слоям 5, 10 и 15 см (рис. 2). Для каждого варианта засыпки проводились троекратные измерения. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что прирост скорости счета для диаметра окружающего слоя почвы 15 см составляет около 10 % от скорости счета для слоя толщиной 10 см, т. е. при удельной активности почвы 6540 Бк/кг скорость счета 5,2 имп/с близка к максимальной. Эффективность регистрации, рассчитанная по соотношению площади пика ^{137}Cs и удельной активности, составляет 0,0008 (имп/с)/(Бк/кг).

Расчет минимально детектируемой удельной активности (МДУА) выполнен с учетом площади пьедестала под пиком цезия, обусловленного комптоновским рассеянием гамма-излучения природных радионуклидов с энергиями выше 660 кэВ. Результаты гамма-спектрометрии почвы, представленные в таблице 1, показывают наличие в спектре природных радионуклидов, которые дают дополнительный вклад к фоновой составляющей под пиком ^{137}Cs (рис. 5).

Таблица 4

Результаты измерений скорости счета коллимированного детектора в зависимости от диаметра объемного источника ^{137}Cs, окружающего детектор, имп/с

[Table 4

Results of measurements of the count rate of the collimated detector as a function of the layer diameter of a volumetric ^{137}Cs source surrounding the detector, cps]

№ измерения [Measure-ment No.]	Слой 5 см [Layer 5 cm]	Слой 10 см [Layer 10 cm]	Слой 15 см [Layer 15 cm]
1	3,26 ± 0,09	5,26 ± 0,10	5,14 ± 0,10
2	2,77 ± 0,08	4,08 ± 0,10	4,97 ± 0,10
3	2,77 ± 0,08	4,40 ± 0,10	5,52 ± 0,10
Среднее арифметическое (Ст. откл.) [Mean (Std.Dev.)]	2,93 (0,28)	4,58 (0,61)	5,21 (0,28)

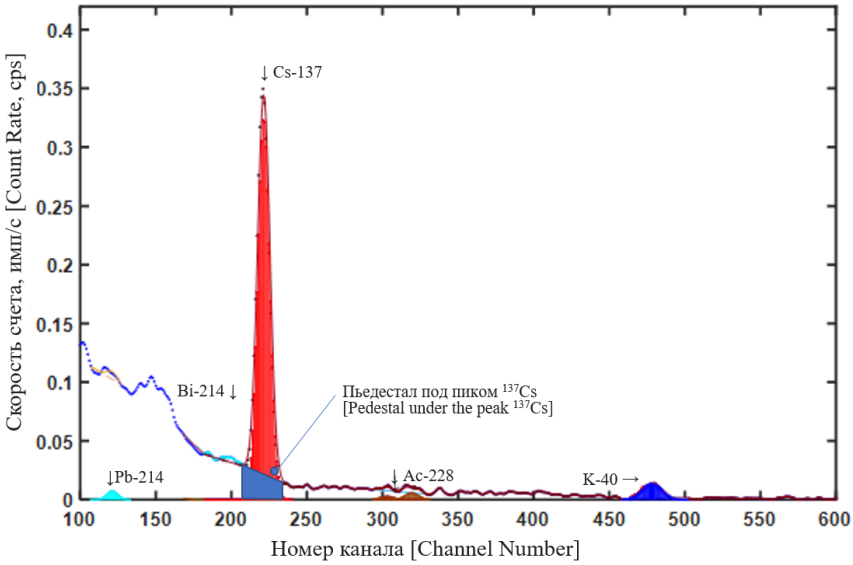


Рис. 5. Гамма-спектр слоя почвы диаметром 15 см, полученный с детектором на основе кристалла $LaBr_3$(Ce) в геометрии измерений, показанной на рисунке 2

[**Fig. 5.** Gamma-spectrum of the 15 cm diameter soil layer obtained with LaBr3(Ce) detector in the measurement geometry shown in Figure 2]

Для расчета МДУА использована следующая формула:

$$\text{МДУА} = 4{,}65 \cdot \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta S}{t_{\text{изм}}}}}{\varepsilon}\ , \text{ Бк/кг}$$

где ΔS – площадь пьедестала, имп/с;

$t_{\text{изм}}$ – время измерений, с;

ε – коэффициент, определяющий соотношение между скоростью счета ^{137}Cs (^{137m}Ba) и удельной активностью, (имп/с)/(Бк/кг).

Результаты расчета показывают, что площадь пьедестала равна 0,00048 имп/с, поэтому при коэффициенте ε, равном 0,0008, и времени измерений 1800 с, МДУА составляет 179 Бк/кг. Округленное значение составляет 200 Бк/кг.

Заключение

Результаты градуировки детектора на основе кристалла $LaBr_3(Ce)$ размером Ø 30 х 30 мм показали, что конструкция данного детектора при расстоянии между коллиматорами 1,5 см позволяет измерять удельные активности ^{137}Cs от 200 Бк/кг в скважинах диаметром 9 см при времени измерений 30 мин.

Коллиматоры, обеспечивающие доступ излучения к открытой части кристалла $LaBr_3(Ce)$, позволяют регулировать ширину обзора горизонта почвы. При расстоянии между коллиматорами 1,5 см детектор позволяет изучать горизонты удельной активности почвы с шагом 5 см, а при расстоянии 2 см – с шагом 10 см.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Разин К.А. провел градуировочные измерения скважинного гамма-детектора, провел статистическую обработку данных, подготовил таблицы и рисунки.

Варфоломеева К.В. провела поиск и анализ литературных данных, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Седнев К.А. провел поиск и анализ литературных данных, отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Репин В.С. является ответственным исполнителем НИР, разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, написал черновик рукописи и представил окончательный вариант рукописи для публикации в журнал.

Зеленцова С.А. провела поиск и анализ литературных данных, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за их ценные, конструктивные замечания и полезные предложения, которые способствовали улучшению качества данной работы.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Статья подготовлена в рамках выполнения отраслевой НИР «Совершенствование и развитие методов мониторинга объектов окружающей среды в районах проведения мирных ядерных взрывов. Радиационно-гигиеническая характеристика источников питьевого водоснабжения».

Литература

1. Верутин М.Г., Кобрусева О.Н. Ядерно-геофизические методы исследований: лабораторные и полевые радиометрические методы: практическое руководство. Гомель: Гомельский ГУ им. Ф. Скорин, 2021. 44 с.
2. Обзор отечественных радиометрических и спектрометрических систем, которые могут быть использованы для целей учета и контроля ядерных материалов // ВНИИА. URL: https://vniia.ru/rgamo/literat/obzor/doc/obzorrus.pdf (Дата обращения: 30.06.2025).
3. Иванов М.М., Иванова Н.Н. Экспресс-анализ вертикального распределения ^{137}Cs в почве для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов в зоне интенсивного радиоактивного загрязнения // Почвоведение. 2023. № 4. С. 510-520. DOI: 10.31857/S0032180X22601104.
4. Пак Д.Ю., Пак Ю.Н., Есендосова А.Н., Смагулова А.Б. О возможности спектрометрического гамма-каротажа при решении задач нефтегазопромысловой геофизики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Технические науки. 2016. № 4. С. 1069-1072.
5. Иванов М.М., Комиссарова О.Л., Кошовский Т.С., Цыпленков А.С. Применение полевой гамма-спектрометрии и дозиметрии для исследования осадконакопления на пойме малой равнинной реки в зоне радиоактивного загрязнения // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 1. С. 120–127.
6. Пак Д.Ю., Пак Ю.Н., Табаева А.Ю. Перспективы геофизических исследований скважин на основе спектрометрического гамма-каротажа // Труды университета. 2022. Т. 86, № 1. С. 81-89.
7. Храмцов Е.В. Радиационная обстановка на территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-1» до выполнения реабилитационных работ // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, №2. С. 81-88. DOI:10.21514/1998-426x-2019-12-2-81-88.
8. Цветнова О.Б., Александров М.Н., Щеглов А.И. Современная радиоэкологическая обстановка на территории объекта «Глобус - 1» // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2013. № 2. С. 11–16.
9. Варфоломеева К.В., Седнев К.А., Библин А.М. и др. Радиационно-гигиеническая характеристика и санитарное состояние территории проведения мирных ядерных взрывов «Глобус-3» и «Кварц-2» в Республике Коми // Радиационная гигиена. 2025. Т.18, №1. С.100-111. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-100-111.
10. Казачёнок Н.Н. «Закономерности формирования техногенных биогеохимических провинций радиоактивных изотопов». Докторская диссертационная работа по специальности геоэкология. Науки о Земле. СПб, 2018. 313 с.
11. Учебно-методическое пособие по радиоактивным, акустическим и термическим методам исследования скважин / Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования, Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2009. 101 с.
12. Язиков В.Г., Легавко А.В. Особенности проведения геофизических исследований в скважинах при изучении и освоении инфильтрационных (гидрогенных) месторождений урана. Томск: Издательство ТПУ, 2012. С. 12.
13. Баретто П.М. Новейшие достижения в разведке урановых месторождений // Бюллетень МАГАТЭ. Т. 23, №2. С. 18-24. URL: https://clck.ru/3NPvCr (Дата обращения: 30.06.2025).
14. Гейхман М.Г., Колесниченко В.П., Климов В.В. и др. Новые технические средства, технологии и методология геолого-геофизического контроля технического состояния крепи газовых и газоконденсатных скважин, в том числе и скважин с аномально высокими пластовыми давлениями и температурой. Краснодар: Просвещение-Юг, 2011. 265 с.
15. Семенов В.Н. Контроль за разработкой нефтяных и газовых месторождений промыслово-геофизическими методами: монография / В.Н. Семенов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тюменский государственный университет. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2020. 224 с.
16. Акиньшин А.В., Кантемиров Ю.Д. Практическое руководство по интерпретации геофизических

исследований скважин: монография. ООО «Тюменский нефтяной научный центр», 2021. 122 с.

17. Уткин В.И. Селективный гамма-гамма каротаж на угольных месторождениях. М.: Наука, 1975. 127 с.

18. Урманов Э.Г. Нейтронный каротаж нефтегазовых скважин: его модификации, обработка и интерпретация результатов: учебно-методическое пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 80 с.

Поступила: 15.07.2025

Разин Кирилл Александрович – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории экологии Санкт–Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт–Петербург, Россия

Варфоломеева Ксения Владимировна – научный сотрудник лаборатории экологии Санкт–Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт–Петербург, Россия

ORCID: 0009-0008-3483-806X

Седнев Константин Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории экологии Санкт–Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт–Петербург, Россия

ORCID: 0009-0006-7906-1106

Репин Виктор Степанович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией экологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: v.repin@mail.ru

ORCID: 0009-0005-9897-0930

Зеленцова Светлана Александровна – научный сотрудник лаборатории экологии Санкт–Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт–Петербург, Россия

ORCID: 0009-0005-2244-0028

Для цитирования: Разин К.А., Варфоломеева К.В., Седнев К.А., Репин В.С., Зеленцова С.А. Исследование возможностей детектора на основе кристалла бромида лантана для оценки удельной активности цезия–137 в глубоких слоях почвы // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 120–129. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-120-129

Study of the capabilities of a detector based on a lanthanium bromide crystal for assessing ^{137}Cs activity concentration in deep soil layers

Kirill A. Razin, Kseniya V. Varfolomeeva, Konstantin A. Sednev, Viktor S. Repin, Svetlana A. Zelentsova

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

During expeditionary radiation-hygienic studies of territories, there is often a need to assess activity concentration of radionuclides in soil at depths greater than 20 cm. This is associated with certain methodological and technical difficulties in sampling. The aim of this study was to carry out a series of calibration measurements and evaluate the capabilities of a collimated scintillation detector for determining ^{137}Cs activity concentration in soil at different depths in boreholes in situ. Materials and Methods: A comprehensive calibration was carried out for the MKSP-01 RADEK gamma spectrometer with a $LaBr_3$(Ce) crystal, including a study of the axial sensitivity and detection efficiency for the ^{137}Cs radionuclide from both a point source and a volumetric soil source with known activity. This made it possible to determine the optimal measurement parameters, including the distances between collimators and calibration coefficients for accurate determination of activity concentration at different distances and with different sample volumes. Results and Discussion: This article presents the results of calibration of the detector based on a $LaBr_3$(Ce) crystal measuring ∅30x30 mm, designed to measure the intensity of ^{137}Cs gamma radiation in boreholes at depths of up to 1 m. The calibration measurements showed that the detector design allows measuring activity concentration of ^{137}Cs from 200 Bq/kg in boreholes with a diameter of 90 mm, with the ^{137}Cs peak detection efficiency of about 0.1% and a measurement time of 30 min. The detector ensures reliable detection of soil layers with ^{137}Cs activity above the minimum significant activity concentration. Conclusion: Collimators providing access of gamma radiation to the open part of the $LaBr_3$(Ce) crystal allow adjusting the thickness

Viktor S. Repin
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Repin@mail.ru

of the studied soil layer (horizon view width) during the measurement process. With a distance between the collimators of 1.5 cm, the detector allows studying the activity concentration horizons with a step of 5 cm, with an increase in the distance to 2 cm – 10 cm.

Key words: *field gamma spectrometry, radionuclide contamination, technogenic radionuclides, ^{137}Cs, activity concentration, soil, spectrometer calibration.*

Authors' personal contribution

Razin K.A. conducted the calibration measurements of the well gamma detector, performed statistical data processing, and prepared tables and figures.

Varfolomeeva K.V. conducted the literature search and analysis, and edited the intermediate draft of the manuscript.

Sednev K.A. conducted the literature search and analysis, and edited the intermediate draft of the manuscript.

Repin V.S. is the principal investigator of the research project, developed the study design, defined the objectives and tasks, wrote the manuscript draft, and submitted the final version of the manuscript for journal publication.

Zelentsova S.A. conducted the literature search and analysis, and edited the intermediate draft of the manuscript.

Acknowledgments

The authors sincerely express their gratitude to the reviewers for their valuable, constructive comments and helpful suggestions, which contributed to the improvement of this work.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

This article was prepared as part of the sectoral research project "Improvement and Development of Environmental Monitoring Methods in Areas of Peaceful Nuclear Explosions. Radiation-Hygienic Characterization of Drinking Water Supply Sources".

References

1. Verutin MG, Kobruseva ON. Nuclear and geophysical research methods: laboratory and field radiometric methods: a practical guide. Gomel: Gomel State University named after F. Skorina; 2021. 44 p. (In Russian).
2. Review of domestic radiometric and spectrometric systems that can be used for accounting and control of nuclear materials. Available from: https://vniia.ru/rgamo/literat/obzor/doc/obzorrus.pdf [Accessed: 30 Jun 2025]. (In Russian).
3. Ivanov MM, Ivanova NN. Express analysis of the vertical distribution of ^{137}Cs in soil to assess the rate of erosion and accumulation processes in the zone of intense radioactive contamination. *Soil science = Pochvovedenie.* 2023.4: 510-520. (In Russian). DOI: 10.31857/S0032180X22601104.
4. Pak DYu, Pak YuN, Esendosova AN, Smagulova AB. On the possibility of spectrometric gamma logging in solving problems of oil and gas field geophysics. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy. Tekhnicheskie nauki = International Journal of Applied and Fundamental Research. Technical Sciences*. 2016.4: 1069-1072. (In Russian).
5. Ivanov MM, Komissarova OL, Koshovsky TS, Tsyplenkov AS. Application of field gamma-ray spectrometry and dosimetry to study sedimentation in the floodplain of the small plain river in the zone of radioactive contamination. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya = Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography*. 2021.1: 120-127. (In Russian).
6. Pak DY, Pak YuN, Tabaeva AYu. Prospects of geophysical research of wells based on spectrometric gamma logging. *Trudy universiteta = Proceedings of the University*. 2022.86(1): 81-89. (In Russian).
7. Khramtsov E. Radiation situation on the territory of the peaceful nuclear explosion «Globus-1» before performing the rehabilitation works. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019.12(2): 81-88. DOI:10.21514/1998-426x-2019-12-2-81-88. (In Russian).
8. Tsvetnova OB, Alexandrov MN, Shcheglov AI. Modern radioecological situation on the territory of the Globus -1 facility. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie = Bulletin of the Moscow University. Series 17. Soil science*. 2013;2: 11-16. (In Russian).
9. Varfolomeeva K.V., Sednev K.A., Biblin A.M., Ivanov S.A., Zelentsova S.A., Repin V.S., Georgieva A.G. Radiation-hygienic characteristics and sanitary condition of the territories of the Globus-3 and the Quartz-2 peaceful nuclear explosions in the Komi Republic. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(1):100-111. DOI:10.21514/1998-426X-2025-18-1-100-111. (In Russian).
10. Kazachyonok NN, "Patterns of Formation of Technogenic Biogeochemical Provinces of Radioactive Isotopes." Doctoral Dissertation in Geoecology (Earth Sciences). St. Petersburg; 2018. 313 p. (In Russian).
11. Educational and Methodological Manual on Radioactive, Acoustic, and Thermal Methods for Well Investigation / Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education, Ufa State Petroleum Technological University. Ufa; 2009. 101 p. (In Russian).
12. Yazikov VG, Legavko AV. Features of Conducting Geophysical Surveys in Wells during the Study and Development of Infiltration (Hydrogenic) Uranium Deposits. Tomsk: TPU Publishing House; 2012. 12 p. (In Russian).
13. Barreto PM. Recent Advances in Uranium Deposit Exploration. *IAEA Bulletin.* 23(2): 18–24.
14. Geikhman MG, Kolesnichenko VP, Klimov VV et al. New Technical Means, Technologies, and Methodologies for Geological and Geophysical Monitoring of the Technical Condition of Gas and Gas-Condensate Well Casings, Including Wells with Abnormally High Formation Pressures and Temperatures. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug; 2011. 265 p. (In Russian).
15. Semenov VN. Monitoring of Oil and Gas Reservoir Development Using Field Geophysical Methods: Monograph / VN. Semenov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Tyumen State University. Tyumen: Tyumen State University Publishing House; 2020. 224 p. (In Russian).
16. Akinshin AV, Kantemirov YuD. Practical Guide to Interpreting Well Geophysical Surveys: Monograph. LLC "Tyumen Oil Scientific Center"; 2021. 122 p. (In Russian).
17. Utkin VI. Selective Gamma-Gamma Logging in Coal Deposits. Nauka, Moscow; 1975. 127 p. (In Russian).
18. Urmanov EG. Neutron Logging of Oil and Gas Wells: Its Modifications, Processing, and Interpretation of Results: Educational and Methodological Manual. Moscow, Vologda: Infra-Engineering; 2023. 80 p. (In Russian).

Received: July 15, 2025

Kirill A. Razin – Acting Junior Research Fellow of the Ecology Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

Kseniya V. Varfolomeeva – Research Fellow of the Ecology Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0008-3483-806X

Konstantin A. Sednev – Junior Research Fellow of the Ecology Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0006-7906-1106

For correspondence: Viktor S. Repin – Doctor of Biological Sciences, Chief Research Fellow, Head of the Ecology Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Repin@mail.ru)

ORCID: 0009-0005-9897-0930

Svetlana A. Zelentsova – Research Fellow of the Ecology Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0009-0005-2244-0028

For citation: Razin K.A., Varfolomeeva K.V., Sednev K.A., Repin V.S., Zelentsova S.A. Study of the capabilities of a detector based on a lanthanium bromide crystal for assessing ^{137}Cs activity concentration in deep soil layers. ***Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*****. 2025. Vol. 18, No. 3. P. 120–129. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-120-129**

DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-130-140
УДК: 681.785.235:625.42:614.876

Использование портативного гамма–спектрометра для оценки уровней внешнего облучения пассажира метро

Рамзаев В.П., Барковский А.Н.

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

Метрополитен (метро, подземка) является популярным видом общественного транспорта во многих крупных городах. Находясь на территории метрополитена (одна из локаций в городе), пассажир неизбежно подвергается внешнему облучению от природных (терригенных) источников ионизирующего гамма-излучения – ^{40}K, радионуклиды рядов ^{232}Th и ^{238}U, – которые присутствуют в грунте и строительных материалах. Целью настоящего исследования являлась оценка уровней внешнего облучения пассажира метро города Санкт-Петербурга (Россия). Материалы и методы: Портативный гамма-спектрометр-дозиметр, носимый в рюкзаке оператором, был использован для измерения интегральной мощности амбиентного эквивалента дозы и эффективной удельной активности природных радионуклидов по 60 выбранным маршрутам следования пассажира в метро. Мощность эффективной дозы для пассажира метро была оценена с использованием результатов выполненных измерений и опубликованного коэффициента перехода от амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе. Результаты исследования и обсуждение: Значения измеренной величины мощности амбиентного эквивалента дозы варьировали от 65 до 214 нЗв/ч и в среднем составили 92 нЗв/ч. Величина эффективной удельной активности природных радионуклидов находилась в диапазоне от 104 до 188 Бк/кг (средняя – 147 Бк/кг). Средняя мощность амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов составила 86 нЗв/ч (разброс – от 61 до 107 нЗв/ч). Отношение мощности амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов к эффективной удельной активности незначительно варьировало от 0,56 до 0,61 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)) и в среднем равнялось 0,58 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)). Средняя мощность эффективной дозы внешнего облучения от природных радионуклидов для взрослого пассажира Санкт-Петербургского метро консервативно оценена величиной 86 нЗв/ч. Заключение: Сопоставление результатов данной работы и литературных данных показывает, что в Санкт-Петербурге передвижение местного жителя или приезжего с помощью метро, по сравнению с передвижением пешим ходом по поверхностным городским локациям, не приводит к дополнительному внешнему облучению от природных радионуклидов, присутствующих в окружающей среде. По показателю «мощность амбиентного эквивалента дозы» метрополитен Санкт-Петербурга полностью соответствует современным санитарно-эпидемиологическим требованиям, предъявляемым к сооружениям общественного назначения.

Ключевые слова: *метрополитен, метро, пассажир, амбиентный эквивалент дозы, эффективная доза, природные радионуклиды.*

Введение

Метрополитен (далее – метро) как эффективный вид городского пассажирского транспорта функционирует в семи городах России: в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Казани, Екатеринбурге и Самаре. По количеству линий (5 в 2025 г.), станций (73 в 2024 г.) и перевезенных пассажиров (649 млн. человек в 2022 г.) Санкт-Петербург занимает второе место после Москвы [1, 2]. Только пять станций Санкт-Петербургского метро находятся непосредственно на поверхности земли (нулевой уровень). Остальные расположены на глубине от 8 м до 86 м [3]. Средняя глубина расположения станций составляет около 50 м (вычислено нами по данным [3]). Максимальная глубина перегонов (тоннелей) между некоторыми станциями превышает 100 м [3].

Находясь на территории метро человек неизбежно подвергается радиационному воздействию природных источников ионизирующего излучения: терригенного или земного (^{40}K, радионуклиды рядов ^{232}Th и ^{238}U) и космогенного (космическое излучение). Так как основную часть времени пассажир метро проводит на значительной глубине под землей, можно обоснованно утверждать, что мощность дозы внешнего облучения за счет космического излучения существенно ниже таковой на поверхности [4]. Вместе с тем без проведения измерений на месте сложно предсказать, в какую сторону изменится величина мощности дозы внешнего облучения пассажира метро от терригенных (природных) радионуклидов (ПРН) по сравнению с мощностью дозы в локациях на поверхности земли.

В общем случае для оценки мощности эффективной дозы внешнего облучения человека от ПРН ($E_{ПРН}$, нЗв/ч) в той или иной локации необходимо корректно измерить

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

соответствующую мощность амбиентного эквивалента дозы ($МАЭД_{ПРН}$, нЗв/ч) и вычислить значение $Е_{ПРН}$, используя коэффициент перехода ($СС_{ПРН}$, Зв/Зв) от операционной величины «амбиентный эквивалент дозы» (АЭД, Зв) к нормируемой величине «эффективная доза» (Е, Зв). Значение $СС_{ПРН}$ незначительно варьирует в зависимости от соотношения удельных активностей ПРН в объектах окружающей среды и обратно пропорционально возрасту (в конечном счете, массе тела) человека. При типичном соотношении удельных активностей ^{238}U:^{232}Th:^{40}K = 35:35:370 в грунте численное значение $СС_{ПРН}$ равно 0,58 для взрослых, 0,60 для подростков в возрасте 15 лет, и 0,69 для детей в возрасте 5 лет [5].

Корректное измерение $МАЭД_{ПРН}$ в метро не является тривиальной задачей, т.к. пассажир передвигается по территории метрополитена, к которой относятся наземные вестибюли с привестибюльной территорией, подземные вестибюли с подуличными переходами, эскалаторы, средние залы и платформы станций, подходные коридоры, подземные переходы и тоннели [6]. При передвижении между станциями внутри перегонного тоннеля пассажир находится внутри вагона поезда. Между собой эти сублокации могут различаться по показателю $МАЭД_{ПРН}$. Так измерения, выполненные в метро города Прага (Чехия), показали, что мощность дозы гамма-излучения в воздухе на платформах выше таковой внутри вагона поезда [7].

Для оценки $МАЭД_{ПРН}$ в случае сложной геометрии расположения источников излучения и передвижении человека в городе в наземных локациях, расположенных вне помещений, предложено использовать переносной (портативный) гамма-спектрометр [8, 9], который размещен в рюкзаке у оператора, проводящего измерения в пешеходном режиме. Такой режим позволяет одновременно измерить как общую МАЭД, так и эффективную удельную активность ПРН ($А_{эфф}$, Бк/кг) на всем маршруте [9]. В этом случае можно получить корректную величину $МАЭД_{ПРН}$ для дальнейшего вычисления мощности эффективной дозы $Е_{ПРН}$ в той или иной локации. Важно и то, что при использовании портативного гамма-спектрометра и расшифровке спектрограмм можно объективно убедиться, что в момент проведения измерений отсутствовал вклад излучения от техногенных источников. В случае необходимости можно количественно определить МАЭД от техногенного источника, который присутствовал в окружающей среде в момент измерения ($МАЭД_{тех}$, нЗв/ч) [10]. Для вычисления $МАЭД_{тех}$ используется формула [11]:

$$МАЭД_{тех} = МАЭД - МАЭД_{фон} - А_{эфф} \cdot КП\ , \qquad (1)$$

где МАЭД – результаты измерения МАЭД, нЗв/ч; $МАЭД_{фон}$ – суммарная величина собственного фона дозиметра и его отклика на космическое излучение, нЗв/ч; $А_{эфф}$ – эффективная удельная активность ПРН, измеренная *in situ,* Бк/кг; КП – коэффициент перехода от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{ПРН}$, ((нЗв/ч)/(Бк/кг)). На практике величина КП варьирует в зависимости от метода измерений и геометрии источника и требует экспериментального определения для обследуемых локаций [9–11].

Насколько нам известно, до настоящего времени оценок мощности дозы внешнего облучения пассажира метро с использованием результатов, полученных с помощью портативного гамма-спектрометра, не проводилось.

Цель исследования – оценка мощности дозы внешнего облучения пассажира метро Санкт-Петербурга.

Задачи исследования

1. На всех линиях метро по различным маршрутам движения пассажиров измерить усредненные по маршруту значения МАЭД и $А_{эфф}$.
2. Вычислить усредненные по маршруту значения $МАЭД_{ПРН}$ и КП от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{ПРН}$.
3. Валидировать полученное значение КП от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{ПРН}$ в независимой серии измерений в метро.
4. Сравнить значения $МАЭД_{ПРН}$, полученные в данном исследовании на территории метро, с таковыми, определенными ранее тем же методом в других локациях в Санкт-Петербурге.
5. Вычислить среднее значение мощности эффективной дозы внешнего облучения для пассажира метро ($Е_{ПРН}$).
6. Определить соответствие уровней внешнего облучения в метро требованиям санитарно-эпидемиологических правил и норм.

Материалы и методы

Для измерения МАЭД и $А_{эфф}$ использовали портативный гамма-спектрометр-дозиметр (ГСД) МКС-АТ6101Д (фирма «АТОМТЕХ», Беларусь), который размещали в рюкзаке на спине у оператора [9, 10]. Значение $МАЭД_{фон}$ (4 нЗв/ч) было получено при измерении спектра внутри низкофоновой стальной камеры (толщина стенок 20 см), предназначенной для измерения радиоактивности в теле человека (счетчик излучения человека). Данное фоновое значение МАЭД внутри такой камеры в большей мере применимо к измерениям под землей, по сравнению с величиной $МАЭД_{фон}$ (8 нЗв/ч), измеренной на поверхности Финского залива [9].

Были обследованы все пять линий Санкт-Петербургского метро. Оператор перемещался по территории метро как обычный пассажир, совершающий поездку от одной станции к другой. В основной серии измерений были рассмотрены два распространенных варианта поездок: беспересадочная и с одной пересадкой на узловой станции. В первом случае в качестве станции посадки выбирали одну из станций, расположенных в центре города, а высадка происходила на одной из конечных станций данной линии. После этого оператор возвращался по встречному маршруту на станцию посадки и проводил цикл измерений в противоположном направлении, начиная с той же станции в центре города и заканчивая на другой конечной станции линии. В общей сложности по этой схеме было обследовано 20 маршрутов. В случае поездки с пересадкой станции входа и выхода на территорию метро выбирали произвольно. Были обследованы 18 маршрутов для всех действующих семи пересадочных узлов (на одном из узлов пересекаются три линии). В общей сложности во время передвижения по маршрутам оператор побывал на 44 станциях.

Измерение начинали на предвестибюльной территории или у входа в подуличный переход на станции посадки. Далее следовали: перемещение по вестибюлю, спуск по эскалатору и/или лестнице, проход по подходному коридору (при наличии) и платформе и ожидание поезда на платформе, поездка в поезде (стоя или сидя), проход по платформе конечной станции поездки, проход по подходному

коридору (при наличии), подъем по эскалатору и/или лестнице, проход по вестибюлю. Измерение завершали при выходе на предвестибюльную территорию или у выхода из подуличного перехода станции назначения; файл с полученными данными, которые по умолчанию включали в себя продолжительность измерения (T, с), записывали в память ГСД. В случае подземной пересадки с линии на линию (станции на станцию) в общий маршрут (и, соответственно, в непрерывное измерение спектра) входили перемещение по переходу к платформе другой линии и ожидание прибытия поезда на платформе.

Для валидации значения КП, полученного в основной серии измерений, были использованы спектры, измеренные авторами во время поездок оператора в метро на маршрутах (n = 21), которые отличались от таковых в основной серии. При этом схема проведения измерений в серии для валидации КП была такой же, как и в основной серии.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием Excel for Windows и online платформы открытого доступа[1].

Результаты и обсуждение

В общей сложности было измерено 60 спектров. При визуальном анализе 59 спектров были идентифицированы гамма-пики только природных радионуклидов из семейств ^{238}U (^{214}Bi), ^{232}Th (^{208}Tl), и ^{40}K. Примеры приведены на рисунке (панели A–E).

В одном случае (рис., панель F, маршрут Садовая-Шушары) наряду с пиками от ПРН был обнаружен пик с энергией 511 кэВ. При повторном измерении на том же маршруте (рис., панель F, маршрут Садовая-Шушары-повт.) данный пик отсутствовал. Следует отметить, что в диапазоне 600–2800 кэВ аномальный и фоновый спектры совпадали между собой по амплитуде и форме. Мы предполагаем, что наличие пика с энергией 511 кэВ связано с присутствием в момент первого измерения на данном маршруте некоего пациента, выписанного из клиники после проведения позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ) с использованием техногенных радионуклидов ^{18}F или ^{68}Ga. Известно, что в Санкт-Петербурге имеются отделения ядерной медицины, в которых проводят данные исследования [12, 13]. ^{18}F и ^{68}Ga являются короткоживущими радионуклидами: период полураспада равен 110 и 68 минут соответственно. С точки зрения радиационной безопасности населения допускается, что в этом случае выписка пациентов может быть проведена спустя уже 2 часа после процедуры [14]; при этом в организме пациента присутствует остаточная активность радионуклида.

Измеренные значения МАЭД варьировали от 65 до 214 нЗв/ч (средняя 92 нЗв/ч, n = 60). Для изучения соотношения между $МАЭД_{ПРН}$ и $А_{эфф}$ из величины общей МАЭД было вычтено значение $МАЭД_{фон}$ (4 нЗв/ч). Полученная величина обозначена как $МАЭД_{кор}$. Максимальные значения МАЭД (214 нЗв/ч) и $МАЭД_{кор}$ (210 нЗв/ч) были получены при измерении спектра в присутствии техногенного источника (пик 511 кэВ, рис.). Этот спектр был расценен как выброс; в общей статистике анализа $МАЭД_{кор}$ и КП данный выброс не учитывался, но рассмотрен ниже отдельно.

Значения продолжительности (времени) измерения спектра, МАЭД, $А_{эфф}$ и отношения $МАЭД_{кор}$ к $А_{эфф}$ для каждого из маршрутов в основной серии измерений даны в таблице 1. Там же, в нижней части, приведены результаты статистической обработки данных. В среднем продолжительность одной поездки составляла менее получаса (1615 с) и варьировала от 915 до 2110 с. Разброс значений $МАЭД_{кор}$ и $А_{эфф}$ был менее, чем двукратный: от 64 до 106 нЗв/ч и от 108 до 185 Бк/кг соответственно. $МАЭД_{кор}$ и $А_{эфф}$ статистически значимо и сильно коррелировали друг с другом: коэффициент корреляции Спирмена равен 0,988 при $p < 0,01$. Значения коэффициента перехода от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{кор}$ находились в очень узком диапазоне от 0,56 до 0,60 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)); среднее и медианное значения КП совпадали друг с другом и равнялись 0,58 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)). Данную величину можно обоснованно рассматривать в качестве КП от измеренного в метро значения $А_{эфф}$ к значению $МАЭД_{ПРН}$, т.к. включенные в статистический анализ спектры свидетельствовали о присутствии в окружающей среде только природных радионуклидов.

Надежность использования полученной величины КП для вычисления ожидаемых значений $МАЭД_{ПРН}$ на основании измеренных *in situ* значений $А_{эфф}$ была проверена в валидационной серии измерений (табл. 2). Во всех измеренных спектрах (n = 21) присутствовали пики только ПРН. Как видно из таблицы 2, вычисленные значения $МАЭД_{ПРН}$ отличались от измеренных значений не более чем на 4 %. В среднем различия составили всего 0,2 % и были статистически незначимы (критерий Уилкоксона для связанных выборок, $p > 0,05$). Таким образом, в метро значение коэффициента КП 0,58±0,01 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)) может быть использовано для вычисления $МАЭД_{ПРН}$ по данным измерений $А_{эфф}$.

Экспериментальное определение устойчивой величины КП от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{ПРН}$ в метро позволяет оценить вклад техногенного источника в общую мощность дозы гамма-излучения для случая измерений на маршруте Садовая-Шушары с использованием данных таблицы 1 и выражения (1). Значение $МАЭД_{тех}$ и статистическая неопределенность (2 сигма) составили 115±11 нЗв/ч. Справедливость данной оценки может быть проверена, так как на том же маршруте был измерен фоновый спектр в отсутствии техногенного источника (Садовая-Шушары-повт.). Значение $МАЭД_{тех}$ и статистическая неопределенность (2 сигма), вычисленные как разница между результатами двух измерений (в присутствии и отсутствии техногенного источника), были равны: (214±10) – (101±5) = (113±11) нЗв/ч. Как видно, имеется очень хорошее согласие между двумя способами оценки $МАЭД_{тех}$: разница не превышает 2 % и находится в рамках статистических неопределенностей измерений.

[1]Social Science Statistics. Доступно по ссылке [Available from]: https://www.socscistatistics.com (Дата обращения: 01.07.2025 [Accessed July 01, 2025]).

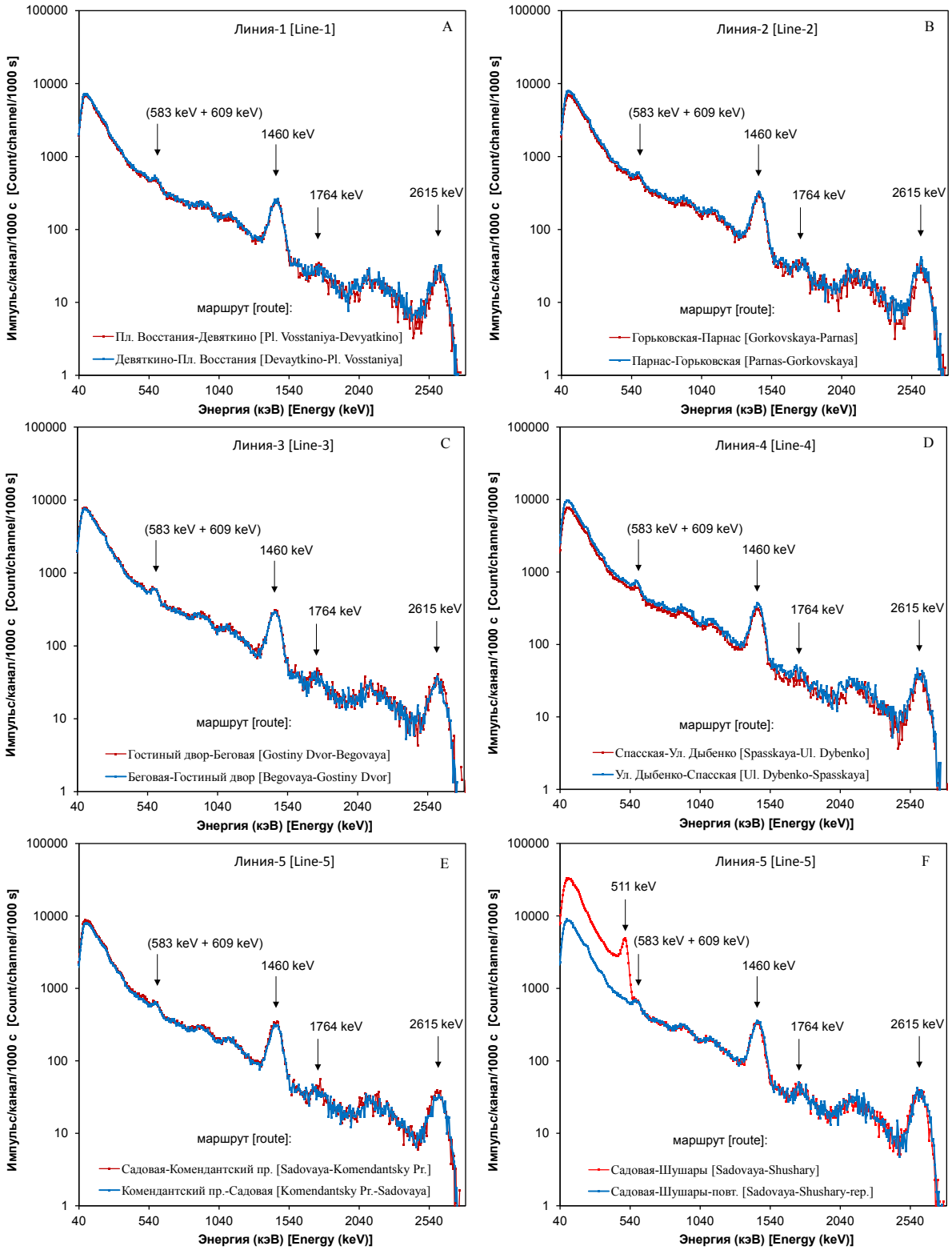


Рис. Гамма-спектры, измеренные при передвижении оператора в режиме «пассажир» по маршрутам в метро Санкт-Петербурга в 2025 г. Отмечены основные гамма-пики природных радионуклидов: 2615 кэВ от ^{208}Tl, 1764 кэВ от ^{214}Bi, 1460 кэВ от ^{40}K и суммарный пик (583 кэВ + 609 кэВ) от ^{208}Tl и ^{214}Bi. Пик с энергией 511 кэВ на панели F может быть связан с техногенными радионуклидами ^{18}F или ^{68}Ga

[Fig. Gamma-ray spectra measured during travel of the operator in the "passenger" mode along the routes of the St. Petersburg metro in 2025. The main gamma peaks of natural radionuclides marked are: 2615 keV of ^{208}Tl, 1764 keV of ^{214}Bi, 1460 keV of ^{40}K, and the composite peak (583 keV + 609 keV) of ^{208}Tl and ^{214}Bi. The peak with the energy of 511 keV in panel F may be associated with the human-made radionuclides ^{18}F or ^{68}Ga]

Таблица 1

Продолжительность поездки (время измерения гамма-спектра), общая мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД), эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{эфф}$) и отношение мощности амбиентного эквивалента дозы с учетом поправки на собственный фон прибора и отклик на космическое излучение ($МАЭД_{кор}$) к $A_{эфф}$ в основной серии измерений (n = 39) на маршрутах в метро Санкт-Петербурга в 2025 г.

[Table 1

Travel duration (gamma spectrum measurement time), total ambient dose equivalent rate (ADER), effective activity concentration of natural radionuclides (A_{eff}), and the ratio of the ambient dose equivalent rate with correction for the intrinsic background of the instrument and its response to cosmic radiation ($ADER_{cor}$) to A_{eff} in the main series of measurements (n = 39) on the routes in the St. Petersburg metro in 2025]

Линии [Lines]	Маршрут [Route]		Время, с [Time, s]	МАЭД, нЗв/ч [ADER, nSv/h]	$A_{эфф}$, Бк/кг [A_{eff}, Bq/kg]	$МАЭД_{кор}/A_{эфф}$, (нЗв/ч)/(Бк/кг)) [$ADER_{cor}/A_{eff}$, (nSv/h)/(Bq/kg))
	Станция посадки [Boarding station]	Станция назначения [Destination station]				
1	Площадь Восстания [Ploshchad Vosstaniya]	Девяткино [Devyatkino]	1836	73,6	116	0,60
1	Девяткино [Devyatkino]	Площадь Восстания [Ploshchad Vosstaniya]	1941	77,7	123	0,60
1	Площадь Восстания [Ploshchad Vosstaniya]	Проспект Ветеранов [Prospekt Veteranov]	1766	69,5	112	0,58
1	Проспект Ветеранов [Prospekt Veteranov]	Площадь Восстания [Ploshchad Vosstaniya]	1768	68,1	108	0,59
1	Горьковская [Gorkovskaya]	Парнас [Parnas]	1577	81,1	132	0,58
1	Парнас [Parnas]	Горьковская [Gorkovskaya]	1642	89,7	145	0,59
1	Горьковская [Gorkovskaya]	Купчино [Kupchino]	1883	78,0	123	0,60
1	Купчино [Kupchino]	Горьковская [Gorkovskaya]	1904	80,1	127	0,60
3	Гостиный двор [Gostiny Dvor]	Беговая [Begovaya]	1385	91,1	152	0,57
3	Беговая [Begovaya]	Гостиный двор [Gostiny Dvor]	1495	87,5	143	0,58
3	Гостиный двор [Gostiny Dvor]	Рыбацкое [Rybatskoye]	2101	98,0	161	0,58
3	Рыбацкое [Rybatskoye]	Гостиный двор [Gostiny Dvor]	2110	88,9	146	0,58
4	Спасская [Spasskaya]	Улица Дыбенко [Ulitsa Dybenko]	1654	91,5	148	0,59
4	Улица Дыбенко [Ulitsa Dybenko]	Спасская [Spasskaya]	1751	107	176	0,59
4	Спасская [Spasskaya]	Горный институт [Gorny Institut]	984	92,9	149	0,60
4	Горный институт [Gorny Institut]	Спасская [Spasskaya]	970	92,8	150	0,59
	Садовая [Sadovaya]	Шушары [Shushary]	1757	214	163	1,29*
5	Садовая (повт.) [Sadovaya (rep.)]	Шушары (повт.) [Shushary (rep.)]	1914	101	167	0,58
5	Шушары [Shushary]	Садовая [Sadovaya]	2043	95,4	158	0,58
5	Садовая [Sadovaya]	Комендантский проспект [Komendantsky Prospekt]	1856	99,2	162	0,59

Окончание таблицы 1

Линии [Lines]	Маршрут [Route]		Время, с [Time, s]	МАЭД, нЗв/ч [ADER, nSv/h]	$А_{эфф}$, Бк/кг [$А_{eff}$, Bq/kg]	$МАЭД_{кор}/А_{эфф}$, (нЗв/ч)/(Бк/кг)) [$ADER_{cor}/А_{eff}$, (nSv/h)/(Bq/kg))
	Станция посадки [Boarding station]	Станция назначения [Destination station]				
5	Комендантский проспект [Komendantsky Prospekt]	Садовая [Sadovaya]	1710	94,0	153	0,59
1//2	Нарвская [Narvskaya]	Петроградская [Petrogradskaya]	1476	80,0	128	0,59
2//1	Петроградская [Petrogradskaya]	Нарвская [Narvskaya]	1561	73,9	117	0,60
1//3	Выборгская [Vyborgskaya]	Елизаровская [Elisarovskaya]	1522	75,4	122	0,58
3//1	Елизаровская [Elisarovskaya]	Выборгская [Vyborgskaya]	1784	83,4	137	0,58
1//4	Площадь Ленина [Ploshchad Lenina]	Лиговский проспект [Ligovsky Prospekt]	1285	82,4	135	0,58
4//1	Лиговский проспект [Ligovsky Prospekt]	Площадь Ленина [Ploshchad Lenina]	1477	95,5	160	0,58
1//5	Нарвская [Narvskaya]	Адмиралтейская [Admiralteyskaya]	1446	80,3	131	0,58
5//1	Адмиралтейская [Admiralteyskaya]	Нарвская [Narvskaya]	1582	82,0	133	0,59
2//3	Горьковская [Gorkovskaya]	Приморская [Primorskaya]	1319	98,4	169	0,56
3//2	Приморская [Primorskaya]	Горьковская [Gorkovskaya]	1457	90,9	149	0,58
2//4	Технологический институт [Tekhnologichesky Institut]	Достоевская [Dostoevskaya]	1267	110	185	0,57
4//2	Достоевская [Dostoevskaya]	Технологический институт [Tekhnologichesky Institut]	1060	92,4	151	0,58
2//5	Невский проспект [Nevsky Prospekt]	Обводный канал [Obvodny Kanal]	1234	106	176	0,58
5//2	Обводный канал [Obvodny Kanal]	Невский проспект [Nevsky Prospekt]	1445	102	168	0,58
3//4	Василеостровская [Vasileostrovskaya]	Новочеркасская [Novocherkasskaya]	1505	92,4	155	0,57
4//3	Новочеркасская [Novocherkasskaya]	Василеостровская [Vasileostrovskaya]	1665	104	173	0,58
4//5	Ладожская [Ladozhskaya]	Спортивная [Sportivnaya]	1899	87,1	141	0,59
5//4	Спортивная [Sportivnaya]	Ладожская [Ladozhskaya]	2105	91,4	152	0,57
Минимум [Minimum]			970	68,1	108	0,56
Максимум [Maximum]			2110	214	185	0,60
Медиана [Median]			1642	91,1	149	0,58
Средняя [Mean]			1619	92,3	146	0,58
С.о. [SD]			301	22,6	19	0,01

* – значение не учитывалось в статистическом анализе [the value was not included in the statistical analysis].

С.о. – стандартное отклонение [SD – standard deviation].

Таблица 2

Продолжительность поездки (время измерения гамма-спектра), общая мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД), эффективная удельная активность природных радионуклидов ($А_{эфф}$), вычисленная и измеренная мощность амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов ($МАЭД_{ПРН}$) и разница между вычисленной и измеренной $МАЭД_{ПРН}$ в валидационной серии измерений (n = 21) в метро Санкт-Петербурга

[Table 2

Travel duration (gamma spectrum measurement time), total ambient dose equivalent rate (ADER), effective activity concentration of natural radionuclides (A_{eff}), calculated and measured ambient dose equivalent rate from natural radionuclides ($ADER_{NRN}$), and the difference between calculated and measured $ADER_{NRN}$ in the validation series of measurements (n = 21) in the St. Petersburg metro]

Параметр [Parameter]	Время (с) [Time (s)]	МАЭД (нЗв/ч) [ADER (nSv/h)]	$А_{эфф}$ (Бк/кг) [A_{eff} (Bq/kg)]	$МАЭД_{ПРН}$ (нЗв/ч) [$ADER_{NRN}$ (nSv/h)]		Разница [Difference]	
				вычисленная [calculated]	измеренная [measured]	абсолютная (нЗв/ч) [absolute (nSv/h)]	относительная (%) [relative (%)]
Минимум [Minimum]	576	65,3	104	60,3	61,3	−3,4	−3,4
Максимум [Maximum]	1596	111	188	109	107	2,9	4,0
Медиана [Median]	1166	92,4	151	87,6	88,4	0,1	0,1
Средняя [Mean]	1115	91,0	150	86,9	87,0	0,1	0,2
С.о. [SD]	289	12,0	22	12,7	12,0	1,6	1,8

С.о. – стандартное отклонение [SD – standard deviation].

Определенное нами среднее значение $МАЭД_{ПРН}$ в петербургском метро (86 нЗв/ч, n = 59, исключая аномальный спектр с идентифицированным пиком 511 кэВ) оказались меньше, чем те средние значения $МАЭД_{ПРН}$, которые были получены с помощью того же метода измерений на пешеходных частях улиц (114 нЗв/ч, n = 70), дворов (114 нЗв/ч, n = 11) площадей (141 нЗв/ч, n = 10), дорожек в парках (126 нЗв/ч, n = 27), и набережных (средняя = 146 нЗв/ч, n = 9) Санкт-Петербурга [9]. Соответственно, в Санкт-Петербурге передвижение местного жителя или приезжего с помощью метро, по сравнению с передвижением пешим ходом по поверхностным локациям, не должно приводить к дополнительному внешнему облучению от ПРН, присутствующих в окружающей среде. Это положение в целом согласуется с результатами исследования [15], посвященного измерению МАЭД на станциях метро города Минска (Беларусь). Авторы работы [15] предполагают, что «… минский метрополитен не формирует значимой дополнительной дозы внешнего облучения для его пользователей».

Среднее значение общей МАЭД, измеренной нами в метро Санкт-Петербурга (92 нЗв/ч), – ниже, чем общее усредненное значение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (120 нЗв/ч) на 33 станциях метро города Минска [15], и ниже средней величины «радиационного фона» (122 нЗв/ч) на 77 станциях метро города Москвы [16]. Помимо особенностей самих метрополитенов, различия могут быть связаны как с использованием разных приборов для измерения (МКС-АТ6101Д в Санкт-Петербурге, МКС-АТ6130А в Минске, РАДЭКС-РД1706 в Москве), так и с условиями выполнения измерений. В нашем исследовании измерения проводили по всему маршруту следования пассажира, включая вагон поезда и эскалатор, а в работах [15, 16] – только на станциях. Как было показано на примере метро в Праге (Чехия) [7], мощность дозы гамма-излучения примерно в 2 раза ниже в вагонах (34–49 нГр/ч), чем на станциях (60–110 нГр/ч).

Метрополитен следует рассматривать как сооружение для общественного пользования. Данное сооружение в Санкт-Петербурге динамично развивается и находится в состоянии постоянного строительства; в эксплуатацию вводятся новые станции, а существующие обновляются и реконструируются. На помещения общественных зданий и сооружений, вводимых в эксплуатацию, распространяются требования главы XIII СанПиН 2.6.4115-25[2], согласно которым МАЭД гамма-излучения в воздухе таких помещений «не должна превышать МАЭД гамма-излучения на открытой местности более чем на 0,3 мкЗв/ч» (пункт 297). Точно такое же требование существует в отношении эксплуатируемых общественных зданий и сооружений (пункт 300 СанПиН 2.6.4115-25). Из обсуждения, приведенного выше,

[2]Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.6.4115-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения». Утверждены постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 марта 2025 г. № 6 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 21 апреля 2025 г., регистрационный № 81916). [Sanitary Rules and Norms SanPiN 2.6.4115-25 "Sanitary and Epidemiological Requirements in the Field of Population Radiation Safety When Handling Sources of Ionizing Radiation". Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 27.03.2025 No. 6 (registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation on April 21, 2025, registration No. 81916). (In Russ.)]

видно, что МАЭД в Петербургском метро даже несколько ниже, чем МАЭД на открытой местности внутри города. Таким образом, по показателю МАЭД метрополитен Санкт-Петербурга с явным запасом соответствует современным санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Количественно оценим среднюю мощность эффективной дозы внешнего облучения от природных радионуклидов ($Е_{ПРН}$) для взрослого пассажира метро Санкт-Петербурга. Допускаем, что пассажир может с одинаковой вероятностью воспользоваться метро на любом из обследованных маршрутов. Продолжительность перемещения оператора по разным маршрутам различалась (табл. 1 и 2), поэтому для оценки средней $Е_{ПРН}$ следует воспользоваться средневзвешенной (по времени) $МАЭД_{ПРН}$. В нашем случае эта величина несущественно отличалась от средней $МАЭД_{ПРН}$ и составила 85,6 нЗв/ч.

Преобразование $МАЭД_{ПРН}$ в $Е_{ПРН}$ может быть проведено в соответствии с п. 5.1 МУ 2.6.1.1088-02[3] с использованием коэффициента, равного 1,0. В этом случае будет получена оценка эффективной дозы, приемлемая с точки зрения обеспечения радиационной безопасности [17], хотя и избыточно консервативная (86 нЗв/ч). Отметим, что опубликованных в литературе обоснованных значений реалистичного коэффициента преобразования $МАЭД_{ПРН}$ в $Е_{ПРН}$ применительно к условиям облучения человека в сложно устроенных сооружениях метро мы не встретили. Поэтому, в качестве первого приближения, для сравнения с консервативной оценкой мы использовали значение коэффициента преобразования $МАЭД_{ПРН}$ в $Е_{ПРН}$ для условий 2π-геометрии источника излучения из работы [5]. Для значения $СС_{ПРН}$ 0,58 Зв/Зв для взрослого человека [5] получаем: 85,6 × 0,58 = 49,6 нЗв/ч (округленно – 50 нЗв/ч). Внутри весьма объемных станций метро на платформах человек находится намного ближе к полу (один из наиболее распространенных материалов покрытия в Санкт-Петербургском метрополитене – гранит), чем к стенам и потолку этих больших сооружений. Мы допускаем, что в этом случае геометрия источника излучения будет ближе к 2π, чем к 4π. Еще раз подчеркнем, что представленная оценка $Е_{ПРН}$ является предварительной, т.к. она сделана на основе имеющихся в настоящее время данных и коэффициентов. Для получения более точных оценок необходимо проведение измерительных и модельных работ по установлению численных значений коэффициентов связи между $МАЭД_{ПРН}$ и $Е_{ПРН}$ в городской среде, включая территорию метрополитена. Важным натурным направлением таких работ является определение спектральной характеристики и углового распределения гамма-излучения, а также вариабельности МАЭД внутри различных структурных секций метрополитена.

Средневзвешенное значение $МАЭД_{тех}$ для 60 наших измерений спектров в метро не превысило 3 % от $МАЭД_{ПРН}$ и составило около 2,3 нЗв/ч. Эта величина абсолютно безопасна для человека: при условии ежедневных поездок в метро продолжительностью 1 час в день оценка эффективной дозы облучения от техногенного источника такой мощности не достигает 1 мкЗв/год, что существенно меньше предела 10 мкЗв/год, превышение которого предполагает применение требований норм радиационной безопасности НРБ-99/2009[4].

Встреча жителя Санкт-Петербурга или приезжего с пациентом-носителем остаточной активности какого-либо техногенного радионуклида, применяемого в медицине, является очень редким событием. В процессе выполнения наземных гамма-спектрометрических исследований в пешеходном режиме в шести районах Санкт-Петербурга [9] среди 171 измеренного спектра был обнаружен всего один аномальный спектр, на котором присутствовал пик с энергией 140 кэВ (радионуклид ^{99m}Tc, применяемый в ядерной медицине). С учетом данных настоящего обследования, вероятность такой аномалии (2 случая на 231 измерение) составляет менее 1 %.

Заключение

Использование портативного гамма-спектрометра-дозиметра, носимого в рюкзаке оператором, позволило определить интегральную МАЭД и эффективную удельную активность природных радионуклидов ($А_{эфф}$) по 60 полным маршрутам следования пассажира в метро Санкт-Петербурга. Значения измеренной величины МАЭД варьировали от 65 до 214 нЗв/ч и в среднем составили 92 нЗв/ч. Средняя МАЭД от природных радионуклидов ($МАЭД_{ПРН}$) составила 86 нЗв/ч. $МАЭД_{ПРН}$ и $А_{эфф}$ сильно коррелировали друг с другом (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,988). Соотношение между $МАЭД_{ПРН}$ и $А_{эфф}$ было очень устойчивым и равнялось 0,58±0,01 ((нЗв/ч)/(Бк/кг)). Данное соотношение (коэффициент перехода от $А_{эфф}$ к $МАЭД_{ПРН}$) может быть использовано для количественной оценки вклада техногенного и природного излучения в общую МАЭД и дозу внешнего облучения человека в метро. Средняя мощность эффективной дозы внешнего облучения от терригенных радионуклидов для взрослого пассажира Санкт-Петербургского метро консервативно оценена величиной 86 нЗв/ч. Сопоставление результатов данной работы и литературных данных показывает, что в Санкт-Петербурге передвижение местного жителя или приезжего с помощью метро, по сравнению с передвижением пешим ходом по поверхностным локациям, не приведет к дополнительному внешнему облучению от природных радионуклидов, присутствующих в окружающей среде. По показателю МАЭД метрополитен Санкт-Петербурга соответствует современным санитарно-эпидемиологическим требованиям, предъявляемым к общественным сооружениям.

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

[4] 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 № 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 by the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration No. 14534. (In Russ.)]

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Рамзаев В.П. – концептуализация, измерения, написание рукописи.

Барковский А.Н. – концептуализация, редактирование рукописи.

Благодарности

Авторы искренне признательны двум рецензентам за тщательное рецензирование рукописи и конструктивные замечания, позволившие улучшить качество рукописи.

Информация о конфликте интересов

У авторов нет конфликтов интересов, которые следует раскрывать.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Милорадова Ю. В каких городах России есть метро. URL: https://mag.russpass.ru/rubric/napravlenija/goroda-rossii-gde-est-metro (Дата обращения: 15.05.2025).
2. Российская академия транспорта. Анализ динамики изменения основных показателей функционирования метрополитенов в городах России. URL: https://rosacademtrans.ru/metro-0124/ (Дата обращения: 15.05.2025).
3. Метро Санкт-Петербурга. URL: https://subway-spb.ru/ru (Дата обращения: 16.05.2025).
4. Minato S. Cosmic ray dose rates in urban environment: case studies in Nagoya, Japan. Radiation Earth Science Laboratory: Nagoya, Japan, 2016.
5. Ulanowski A., Sato T., Petoussi-Henss N., Balonov M. Relationships between protection and operational dosimetric quantities for external exposure to natural background radiation // Radiation and Environmental Biophysics. 2025. Vol. 64. P. 105–115. DOI: 10.1007/s00411-025-01109-3.
6. Правила пользования Петербургским метрополитеном. URL: https://metro.spb.ru/pravilapolzovaniapm.html/ (Дата обращения: 29.07.2025).
7. Sabol J. Evaluation of radon concentrations in air and gamma dose rates in the Prague metro. Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. No. 2504. Environmental Monitoring and Hazardous Waste Site Remediation. 9 October 1995. DOI: 10.1117/12.224127.
8. Cresswell A.J., Sanderson D.C.W., Harrold M. et al. Demonstration of lightweight gamma spectrometry systems in urban environments // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 124. P. 22–28. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.03.006.
9. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Измерение эффективной удельной активности природных радионуклидов *in situ* для оценки мощности амбиентного эквивалента дозы в городской среде // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 2. С. 132–145. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-132-145.
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. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.10.002.
11. Ramzaev V., Barkovsky A., Bernhardsson C., Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 18–29. DOI: 10.21514/1998-426x-2017-10-1-18-29.
12. Звонова И.А., Чипига Л.А., Балонов М.И., Сухов В.Ю. Радионуклидная диагностика в Санкт-Петербурге: текущее состояние и проблемы развития // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 4. С. 32–41.
13. Чипига Л.А., Козлова К.Н., Звонова И.А. и др. География и структура центров ядерной медицины на территории Российской Федерации по состоянию на 2025 год // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 2. С. 121–131. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-121-131.
14. Aldousari H., Abuhadi N., Izz M. et al. Assessment of external radiation dose rate after 18FDG-PET/CT examination // Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine. 2023. Vol. 54. P. 80. DOI: 10.1186/s43055-023-01031-y.
15. Цвирко А.А., Лапутько М.А. Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в Минском метрополитене. Актуальные проблемы современной медицины и фармации 2022 [электронный ресурс]: сб. материалов докл. LXXVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, Минск, 20–21 апр. 2022 г. / под ред. С.П. Рубниковича, В.А. Филонюка. – Минск: БГМУ. 2022. С. 1067. URL: https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/37510?show=full. (Дата обращения: 08.07.2025).
16. Михайловская Н.Н., Корзенков А.Е., Соколов В.С., Чернов Т.А. Методика организации исследовательской работы «Радиационный фон станций Московского метрополитена» // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12. С. 1–4. DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.94.
17. Романович И.К., Барковский А.Н. О новых критериях отнесения отходов к радиоактивным и об изменениях, внесенных в ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 1. С. 30–35.

Поступила: 14.07.2025

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

Для цитирования: Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Использование портативного гамма-спектрометра для оценки уровней внешнего облучения пассажира метро // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 3. С. 130–140. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-130-140

Using a portable gamma-ray spectrometer to estimate the external exposure for a subway passenger

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky

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

The subway (metro) is a popular form of public transportation system in many large cities. While in the subway territory (one of the locations in the city), a passenger is inevitably exposed to external irradiation from natural (terrigenous) sources of ionizing gamma radiation – ^{40}K, radionuclides of the ^{232}Th and ^{238}U series, which are present in the ground and building materials. The aim of this study was to estimate the external exposure for a metro passenger in St.-Petersburg (Russia). Materials and Methods: A portable gamma spectrometer-dosimeter, carried in a backpack by the operator, was used to measure the integral ambient dose equivalent rate and the effective activity concentration of natural radionuclides along 60 selected passenger routes in the metro. The effective dose rate of external exposure of a metro passenger was estimated using results of the measurements and the published conversion coefficient from ambient dose equivalent to the effective dose. Results and Discussion: The measured values of ambient dose equivalent rate varied from 65 to 214 nSv/h and averaged 92 nSv/h. Effective activity concentration of natural radionuclides ranged from 104 to 188 Bq/kg (average = 147 Bq/kg). The average ambient dose equivalent rate from natural radionuclides was 86 nSv/h (range from 61 to 107 nSv/h). The ratio of the ambient dose equivalent rate from natural radionuclides to the effective activity concentration varied slightly from 0.56 to 0.61 ((nSv/h)/(Bq/kg)) and averaged 0.58 ((nSv/h)/(Bq/kg)). The average effective dose rate of external exposure from natural radionuclides is conservatively estimated at 86 nSv/h for an adult passenger of the St. Petersburg metro. Conclusion: Comparison of the results of this work and literature data shows that the travel of a local resident or visitor in St. Petersburg using the metro, compared to walking on foot in surface urban locations, should not lead to additional external exposure from natural radionuclides present in the environment. In terms of ambient dose equivalent rate, the St.-Petersburg metro fully complies with modern sanitary and epidemiological requirements for public facilities.

Key words: *subway, metro, passenger, ambient dose equivalent, effective dose, natural radionuclides.*

Authors' personal contribution

Ramzaev V.P. – conceptualization, measurements, writing the manuscript.

Barkovsky A.N. – conceptualization, editing the manuscript.

Acknowledgments

The authors are sincerely grateful to two reviewers for their careful review of the manuscript and the constructive comments that improved the quality of the manuscript.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to declare.

Sources of funding

The study had no sponsorship.

References

1. Miloradova Yu. In which cities of Russia is there a metro. Available from: https://mag.russpass.ru/rubric/napravlenija/goroda-rossii-gde-est-metro [Accessed May 15, 2025]. (In Russian).
2. Russian Academy of Transport. Analysis of the dynamics of changes in the main indicators of the functioning of metro systems in Russian cities. Available from: https://rosacademtrans.ru/metro-0124/ [Accessed May 16, 2025]. (In Russian).
3. Saint Petersburg metro. Available on: https://subway-spb.ru/en [Accessed May 16, 2025].
4. Minato S. Cosmic ray dose rates in urban environment: case studies in Nagoya, Japan. Radiation Earth Science Laboratory: Nagoya, Japan; 2016.
5. Ulanowski A, Sato T, Petoussi-Henss N, Balonov M. Relationships between protection and operational dosimetric quantities for external exposure to natural background radiation. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2025;64: 105–115. DOI: 10.1007/s00411-025-01109-3.
6. Rules for Using the St. Petersburg Metro. Available on: https://metro.spb.ru/pravilapolzovaniapm.html/ [Accessed July 29, 2025]. (In Russian).
7. Sabol J. Evaluation of radon concentrations in air and gamma dose rates in the Prague metro. Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. No. 2504. Environmental Monitoring and Hazardous Waste Site Remediation. (9 October 1995). DOI: 10.1117/12.224127.
8. Cresswell AJ, Sanderson DCW, Harrold M, Kirley B, Mitchell C, Weir A. Demonstration of lightweight gamma spectrometry systems in urban environments. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013;124: 22–28. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.03.006.
9. Ramzaev VP, Barkovsky AN. Measurement of effective activity concentration of natural radionuclides *in situ* for assessment of ambient dose equivalent rate in urban environments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(2): 132–145. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-132-145.
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 ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation. *Radiation Measurements*. 2017;107: 14–22. DOI: 10.1016/j.radmeas.2017.10.002.
11. Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray

Valery P. Ramzaev
Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev
Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29. DOI: 10.21514/1998-426x-2017-10-1-18-29.

12. Zvonova IA, Chipiga LA, Balonov MI, Sukhov VJ. Radionuclide diagnostics in St. Petersburg: current status and development challenges. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(4): 32–41. (In Russian).
13. Chipiga LA, Kozlova KN, Zvonova IA, Vodovatov AV, Biblin AM, Stanzhevsky AA. The geography and structure of nuclear medicine centres in the Russian Federation in 2025. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025;18(2): 121–131. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-121-131.
14. Aldousari H, Abuhadi N, Izz M, Alshammari T, Ali Z, Aldaas R, et al. Assessment of external radiation dose rate after 18FDG-PET/CT examination. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023;54: 80. DOI: 10.1186/s43055-023-01031-y.
15. Tsvirko AA, Laputko MA. Ambient dose equivalent rate of gamma radiation in the Minsk metro. Actual Problems of Modern Medicine and Pharmacy 2022 [electronic resource]: Collection of Materials of Reports. LXXVI Int. Scientific and Practical. Conf. of Students and Young Scientists, Minsk, April 20–21, 2022. Edited by Rubnikovich SP, Filonyuk VA. Minsk: BSMU. 2022. P. 1067. Available from: https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/37510?show=full. [Accessed July 08, 2025]. (In Russian).
16. Mikhailovskaya NN, Korzenkov AYu, Sokolov VS, Chernov TA. Methodology of organizing research work "Radiation background of Moscow metro stations". *Mezhdunarodnyy Nauchno-issledovate'skiy Zhurnal = International Research Journal.* 2022;(12): 1–4. (In Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.94.
17. Romanovich IK, Barkovsky AN. On a new criteria of the referring waste to radioactive categories and on the amendments introduced in BSRRSP-99/2010 and SRRWT-2002. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene.* 2014;7(1): 30–35. (In Russian).

Received: July 14, 2025

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 (8, Mira Str., 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

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. Using a portable gamma-ray spectrometer to estimate the external exposure for a subway passenger. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No 3. P. 130–140. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-130-140

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 языка!

– Материалы, представляемые в статье, не должны быть ранее опубликованными в других печатных изданиях. Авторам следует информировать редакцию журнала о том, что какие-то части этих материалов уже опубликованы и могут рассматриваться как дублирующие. В таких случаях в новой статье должны быть ссылки на предыдущие работы. Копии таких материалов прилагаются к рукописи, чтобы редакция имела возможность принять решение, как поступить в данной ситуации. Не допускается направление статей, которые уже напечатаны в других изданиях или представлены для печати в другие издательства.

– 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 35 страниц машинописного текста, оригинальных исследований– 25 страниц, дискуссионных статей – 10, кратких сообщений и заметок из практики – 10 страниц.

В названное количество страниц публикаций входит основной текст рукописи таблицы, рисунки и легенды к ним, а также название, фамилия и инициалы авторов, название учреждений, резюме, ключевые слова, список литературы, данные об авторах, их личном вкладе в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования (все вышеперечисленное – на русском и английском языках).

– 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). 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:

– *Введение (Introduction)*: ставится научная проблема и цель статьи.

– *Материалы и методы (Materials and Methods)*: даются сведения об объекте и последовательности выполнения исследования.

– *Результаты исследования и обсуждение (Results and Discussion)*: приводятся конкретные авторские результаты исследования.

– *Заключение (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 и обсуждение», «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. Центер. 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 и обсуждение (Results and Discussion). 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 подобного материала 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. Подрисуночные подписи должны быть размещены в основном тексте. Перед каждым рисунком, диаграммой или таблицей в тексте обязательно должна быть ссылка. В подписях к микрофотографиям, электронным микрофотографиям обязательно следует указывать метод окраски и обозначать масштабный отрезок.

Диаграммы должны быть представлены в исходных файлах. Рисунки (диаграммы, графики) должны иметь подпись всех осей с указанием единиц измерения СИ. Легенда выносится за пределы рисунка.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и подобного материала оформляются на русском и английском языках.

Заключение (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 ре-

комендации, 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:

Журнал «Радиационная гигиена» принимает следующие критерии авторства:

1) существенный вклад в разработку концепции или планирование научной работы либо в получении, анализе или интерпретации данных работы;

2) составление черновика рукописи или его критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания;

3) окончательное утверждение публикуемой версии рукописи;

4) согласие принять на себя ответственность за все аспекты работы и гарантия того, что все вопросы, связанные с точностью и добросовестностью любой части работы, могут быть надлежащим образом исследованы и урегулированы.

В список авторов не включаются люди, не являющиеся авторами статьи. Имена людей, которые не являются авторами, не отвечают всем четырем критериям, но оказали иную поддержку, указывают в разделе «Благодарности».

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 ГОСТ 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.)]. Или ….согласно 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., Flanagin 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. 447–486.

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. 553–598.

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.

Bailiff 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., Синицын В.Е., Зеликман М.И. и др. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии. REJR. 2018. Т. 8, № 3. С. 60-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.

Статьи, принятые к печати, но еще не вышедшие:

Горский Г.А., Еремин А.В., Стамат И.П. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции // Радиационная гигиена. 2010. Т. 3, № 1. Деп. 10.02.2010 г.

Патенты:

Карамуллин М.А., Шутко А.Н., Сосюкин А.Е. и др. Пат. № 2268031 Российская Федерация, МПК A61H23.00. Способ коррекции отдаленных последствий радиационного воздействия в малых дозах. опубл. 20.01.2006, БИ № 02.

Из газеты:

Фомин Н.Ф., Иванькович Ф.А., Веселов Е.И. Выдающийся ученый, педагог, воспитатель. // Военный 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

Lee C, Kim KP, Bolch WE, Moroz BE, Folio L. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 891-909.

Stamat IP, Kormanovskaya TA, Gorsky GA, Eremin AV. To the justification of requirements to the control of radiation protection indicators for buildings and facilities during their commissioning. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(4): 10–15 (In Russian).

Статья 7 и более авторов (указываются первые 6 авторов, далее «, et al.»)

Fesenko SV, Soukhova NV, Sanzharova NI, Avila R, Spiridonov SI, Klein D, et al. Identification of processes governing long-term accumulation of ^{137}Cs in forest trees following the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2001;40: 105–113.

Vodovatov AV, Chipiga LA, Piven PA, Trufanov GE, Berkovich GV, Mashchenko IA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 126-135. (In Russian).

Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, Gombolevsky VA, Lantukh ZA, Polishuk NS, et al. Moscow Screening: Lung Cancer Screening With Low-Dose Computed Tomography. *Problemy sotsialnoy gigiyeny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of social hygiene, health care and history of medicine*. 2019;27(Special Issue): 630-636. (In Russian) DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636.

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. *American Journal of Sports Medicine*. 2012;40(12): 2872-2878. 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. New York: Springer; 2012. 85 p. Available from: 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. Canberra ACT: Diabetes Australia: Available from: http://www.diabetesaustralia.com.au/en/Understanding-Diabetes/DiabetesGlobally/ [Accessed 5 November 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 longterm behaviour in rock mechanics: Proceedings of the International Symposium of the International Society for Rock Mechanics, EUROCK 2006, 9–12 May 2006, Liege, 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 Российской Федерации, между авторами статей и редакцией журнала заключается **Лицензионный договор (оферта) о предоставлении права использования произведения** издателю. Полный текст авторского договора (оферты) размещен на сайте журнала в раделе «Правила для авторов».

Основным способом подачи рукописи статьи в редакцию является отправка через сайт журнала https://www.radhyg.ru в форме присоединенных файлов. Вся остальная переписка между редакцией, авторами и рецензентами производится по электронной почте журнала по адресу: journal@niirg.ru.

При подаче рукописи должны быть загружены следующие файлы:

1. Текст рукописи (титульный лист, структурированное резюме, ключевые слова, текст статьи, полные данные об авторах, необходимые для обработки в Российском индексе научного цитирования, сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования, список литературы). На английском языке представляется следующая информация: название статьи, транслитерация фамилий авторов в латинском варианте по системе BGN (Board of Geographic Names), представленной на сайте www.translit.ru, название организации с указанием города, страны; структурированное резюме и ключевые слова; сведения об авторах в том же объеме, как на русском; сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей, благодарности, информация о конфликте интересов, сведения об источниках финансирования; список литературы – References). Формат документа при отправке в редакцию – .doc или .docx.

2. Иллюстрации в отдельных файлах в формате Tiff, JPEG с разрешением 300 dpi. При отправке файла обязательно указывайте номер рисунка, соответствующий его номеру в статье.

3. Лицензионный договор о предоставлении права использования произведения издателю. Электронный вариант заполненного и подписанного всеми авторами договора следует отправить в качестве дополнительного файла в формате .pdf.

4. Официальное направление учреждения, в котором выполнена данная работа. В официальном направлении должны быть перечислены фамилии всех авторов и указано название работы в формате .pdf.

5. Экспертное заключение об отсутствии ограничений на публикацию материала в открытой печати и виза научного руководителя на первой странице статьи в формате .pdf.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ И ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

В случае обнаружения недобросовестного поведения со стороны автора, плагиата, фабрикации или фальсификации 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, (812)2334283.