

EDN: <https://elibrary.ru/untuqc>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-12-830-834>

УДК 613.6.027

© Коллектив авторов, 2023

Заброда Н.Н.¹, Жернов Ю.В.¹, Захарова А.В.¹, Маткевич Е.И.^{1,2}**Оценка параметров электромагнитных полей и микроклимата в радионуклидном отделении центра позитронно-эмиссионной томографии**¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России» (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119991;²ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный биофизический медицинский центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, ул. Живописная, 46/8, Москва, 123098

В настоящее время в Российской Федерации фиксируется рост количества позитронно-эмиссионных томографических сканирований, в результате коллективная доза от радионуклидной диагностики в 2021 г. по сравнению с 2020 г. возросла на 62,0%, средняя эффективная доза за одно исследование в центрах позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ-центр) Москвы с 2015 по 2019 гг. увеличилась с 1,71 до 4,41 мЗв. Это приводит к увеличению доз облучения не только пациентов, но и медицинских работников, и обуславливает актуальность разработки современных эффективных мер профилактики неблагоприятного воздействия ионизирующего излучения.

Цель исследования — оценить параметры электромагнитных полей промышленной частоты и микроклимата в помещениях радионуклидного отделения ПЭТ-центра.

В ходе исследования в основных рабочих зонах радионуклидного отделения оценивали: уровни напряжённости электрического и магнитного полей промышленной частоты, относительную влажность, температуру и скорость движения воздуха с применением общепринятых в гигиене труда методов.

Основные параметры электромагнитных полей промышленной частоты и микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха) соответствуют гигиеническим нормативам на рабочих местах производственных помещений. При этом в отдельных рабочих зонах радионуклидного отделения были зарегистрированы более высокие уровни электромагнитных полей, а также снижение показателей относительной влажности и скорости движения воздуха. Контроль параметров электромагнитных полей и микроклимата важен для улучшения условий труда медработников радионуклидного отделения ПЭТ-центра, что способствует сохранению функционального состояния работающих на высоком уровне, увеличению концентрации внимания и точности движений, повышает скорость рабочих манипуляций и позволяет сократить время контакта с радионуклидами при его введении пациентам и тем самым снизить дозовую нагрузку на медработников.

Этика. Данное исследование не требовало заключения этического комитета.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика; радионуклидное отделение; ПЭТ-центр; электромагнитные поля; микроклимат; медработники; гигиена труда; нормирование; радиационная безопасность

Для цитирования: Заброда Н.Н., Жернов Ю.В., Захарова А.В., Маткевич Е.И. Изучение факторов электромагнитных полей и микроклимата в радионуклидном отделении ПЭТ-центра. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(12): 830–834. <https://elibrary.ru/untuqc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-12-830-834>

Для корреспонденции: Захарова Анастасия Владимировна, ассистент кафедры общей гигиены Институт общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» (Сеченовский университет). E-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru

Участие авторов:

Заброда Н.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, анализ полученных результатов, написание текста;

Жернов Ю.В. — концепция и дизайн исследования, формулировка научных гипотез;

Захарова А.В. — определение цели, научное руководство исследованием, научное редактирование;

Маткевич Е.И. — интерпретация и обсуждение результатов исследования.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 27.11.2023 / **Дата принятия к печати:** 06.12.2023 / **Дата публикации:** 29.12.2023

Nadezhda N. Zabroda¹, Yury V. Zhernov¹, Anastasia V. Zakharova¹, Elena I. Matkevich^{1,2}**Assessing the parameters of electromagnetic fields and microclimate in the radionuclide department of the positron emission tomography centre**¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), building 2, 8, Trubetskaya St., Moscow, 119991;²A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, 46/8, Zhivopisnaya St., Moscow, 123098

Currently, in the Russian Federation there is an increase in the number of positron emission tomography scans. As a result, the collective dose from radionuclide diagnostics in 2021 compared to 2020 increased by 62.0%, the average effective dose per one study in positron emission tomography (PET) centres of Moscow from 2015 to 2019. increased from 1.71 to 4.41 mSv. This leads to an increase in radiation doses not only for patients, but also for medical workers, and makes it urgent to develop modern effective measures to prevent the adverse effects of ionizing radiation.

The aim of the study is to evaluate the parameters of electromagnetic fields and microclimate in the premises of the radionuclide department of the PET centre.

During the study, in the main working areas of the radionuclide department, the following levels were assessed: the strength levels of electric and magnetic fields of industrial frequency, relative humidity, temperature and air speed using generally accepted measures in occupational hygiene.

The main parameters of electromagnetic fields and microclimate (temperature, humidity, air speed) comply with hygienic standards in industrial workplaces. At the same time, in certain working areas of the radionuclide department, higher levels of electromagnetic fields were recorded, as well as a decrease in relative humidity and air velocity.

Monitoring the parameters of electromagnetic fields and microclimate is important for improving the working conditions of medical workers in the radionuclide department of the PET centre, which helps maintain the functional state of workers at a high level, increases concentration and accuracy of movements, increases the speed of work manipulations, and reduces the time of contact with radionuclides when administered to patients and thereby reduce the dose load on health workers.

Ethics. The study does not require the opinion of this committee.

Keywords: radionuclide diagnostics; radionuclide department; PET centre; electromagnetic fields; microclimate; health workers; occupational health; rationing; radiation safety

For citation: Zaboroda N.N., Zhernov Yu.V., Zakharova A.V., Matkevich E.I. Assessing the parameters of electromagnetic fields and microclimate in the radionuclide department of the positron emission tomography centre. *Med. truda i prom. ecol.* 2023; 63(12): 830–834. <https://elibrary.ru/untuqc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-12-830-834> (in Russian)

For correspondence: Anastasia V. Zakharova, assistant of the Department of General Hygiene F. Erismann Institute of Public Health I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). E-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru

Author IDs: Zaboroda N.N. <https://orcid.org/0000-0003-3913-552X>

Zhernov Y.V. <https://orcid.org/0000-0001-8734-5527>

Zakharova A.V. <https://orcid.org/0000-0002-4815-8830>

Matkevich E.I. <https://orcid.org/0000-0001-5917-7706>

Contribution:

Zaboroda N.N. — concept and design of the study, collection and processing of material, analysis of the results, writing the text;

Zhernov Y.V. — concept and design of research, formulation of scientific hypotheses;

Zakharova A.V. — definition of the goal, scientific guidance of research, scientific editing;

Matkevich E.I. — interpretation and discussion of the research results.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 27.11.2023 / Accepted: 06.12.2023 / Published: 29.12.2023

Одним из наиболее диагностически информативных направлений в медицинской визуализации является позитронно-эмиссионная томография в сочетании с компьютерной томографией (ПЭТ-КТ) с использованием короткоживущих изотопов фтор-18 (^{18}F), углерод-11 (^{11}C), азот-13 (^{13}N) и кислорода-15 (^{15}O), которые получают в результате ядерных реакций в циклотронах [1–3]¹. Эти методики предоставляют обширные возможности для медицинской диагностики на всех этапах развития патологического процесса [4]².

В России основным типом ПЭТ-сканирования является полноценное исследование внутренних органов человека с использованием радиоизотопа ^{18}F -фтордезоксиглюкозы (ФДГ). Для данной методики характерны высокие уровни эффективной дозы облучения пациентов — от 7 до 8 мЗв за процедуру, а в некоторых случаях — до 14–18 мЗв [4, 5].

По данным Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году», в 2021 г. по сравнению с 2020 г. рост количества радионуклидных исследований составил 24,0%, в результате коллективная доза от радионуклидной диагностики в 2021 г. по сравнению с 2020 г. возросла на 62,0% [6]. Значения средней эффективной дозы за одно исследование в ПЭТ-центрах Москвы с 2015 по 2019 гг. возросли с 1,71 до 4,41 мЗв, что приводит к увеличению доз облучения не только пациентов, но и медицинского персонала [7, 8].

В связи с этим реализация мер по предупреждению облучения пациентов при рентгенологических исследованиях и безопасности труда медицинских работников, занятых в условиях воздействия ионизирующего излучения, остаётся крайне актуальной³.

Представляется важным изучить факторы производственной среды на рабочих местах радионуклидного отделения, формирующие условия труда и влияющие на эффективность рабочего процесса. Известно, что как ЭМИ, так и температура, влажность и скорость движения воздуха в рабочих помещениях могут оказывать прямое влияние на работоспособность и самочувствие работников, на скорость и точность реакций и в итоге на время проведения манипуляций с радиоактивными изотопами медицинских работников [9].

Цель исследования — оценить параметры электромагнитных полей промышленной частоты и микроклимата в помещениях радионуклидного отделения ПЭТ-центра.

В ходе исследования в основных рабочих зонах радионуклидного отделения оценивали: уровни электрического и магнитного полей промышленной частоты, относительную влажность, температуру и скорость движения воздуха. Для измерений использовали оборудование кафедры общей гигиены Института общественного здоровья им. Ф.Ф. Эрисмана Сеченовского университета (ИОЗ): измеритель напряжённости электрического поля (НЭП) промышленной частоты ПЗ-50 (№ 2105, свидетельство регистрации № 2/204-04077-14), диапазон измерения НЭП от 0,01 до 100 кВ/м; диапазон измерения напряжённости магнитного поля (НМП) от 0,1 до 1800 А/м; измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М (№ 32014-11, свидетельство

¹ Озерская А.В. Технологические основы радиофторирования протезных групп для производства фтор-18 радиофармацевтических лекарственных препаратов: дисс. канд. Хим. наук: 2.6.10. Томск; 2023: 32–34.

² Чипига Л.А. Оптимизация радиационной защиты пациентов при проведении диагностических исследований методом позитронной эмиссионной томографии: автореф. дисс. канд. техн. наук: 03.01.02. СПб., 2018: 23–25.

³ Оптимизация радиационной защиты в лучевой диагностике. Учебное пособие. Романович И.К., Иванов Д.О., Водоватов А.В. и др.; ред. И.К. Романович, Д.О. Иванов. СПб.: СПбГПМУ; 2023.

регистрации № 6907/15-Н), диапазон измерений температуры от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$, погрешность измерения $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$; диапазон измерений относительной влажности — от 5,0 до 97,0%, погрешность измерения $\pm 3,0\%$; диапазон измерений скорости воздушного потока — от 0,1 до 20 м/с, погрешность измерения в диапазоне от 0,1 до 1 м/с — $0,05 \pm 0,05 \text{ В}$, в диапазоне более >1 до 20 м/с — $0,1 \pm 0,05 \text{ В}$ — значения измеренной скорости воздушного потока, м/с).

Исследование проводили на подземном этаже отдельного здания ПЭТ-центра в составе крупного медицинского комплекса в Москве, оборудованного циклотроном с протонным ускорителем мощностью 15 МэВ, включающего радиохимический отдел, лаборатории синтеза (1) и лаборатории контроля качества (2), зоной фасовки радиофармацевтических препаратов (РФП) для транспортировки, а также специализированной лабораторией для изотопной диагностики с процедурной, пульт ПЭТ-КТ и местом введения РФП.

Замеры напряжённости электрических и магнитных полей промышленной частоты проводили на высотах 0,5, 1,5 и 1,8 м от пола, параметров микроклимата — на высотах 0,1, 1,0 и 1,7 м от пола трёхкратно с расчётом средних значений для каждой высоты на рабочих местах фасовщика РФП, медсестры и рентген-лаборанта (процедурная ПЭТ, место введения РФП).

Всего было выполнено 450 замеров: в 10 рабочих зонах на трёх указанных высотах, для каждого места измерения. Рассчитывали средние значения показателей (м) и их стандартную ошибку (М).

В ходе исследования в рабочих зонах радионуклидного отделения ПЭТ-центра максимальные показатели напряжённости электрического поля фиксировали на высоте 0,5 и 1,5 от пола, наиболее высокие значения отмечены в лаборатории 1 (синтеза), помещениях для упаковки и фасовки препаратов с изотопом ^{18}F , а также в процедурной и в месте введения этих препаратов пациентам (рис. 1).

Максимальные показатели напряжённости магнитного поля в рабочих зонах зарегистрированы на уровнях 1,5 м и 1,8 м от пола в помещениях для фасовки препарата с изотопом ^{18}F , в процедурной ПЭТ и в пультной зоне ПЭТ-сканирования, а также в месте рядом с пультной зоной ПЭТ КТ, где данный препарат вводится пациентам (рис. 2).

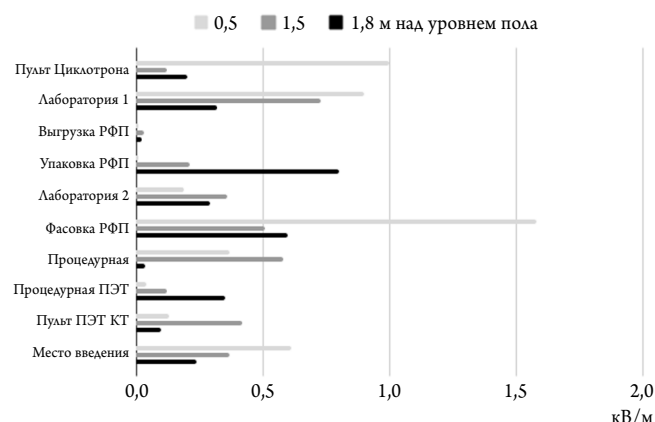


Рис. 1. Результаты измерений напряжённости электрического поля (кВ/м) в радионуклидном отделении ПЭТ-центра при работе с фтор-18

Fig. 1. The results of measurements of the electric field (kV/m) in the radionuclide department of the PET center when working with fluorine-18

В процессе проведения измерений температуры воздуха на рабочих местах радионуклидного отделения установлено, что температура в помещениях изменялась в небольшом диапазоне и составила для всех исследуемых помещений на всех трёх регистрируемых высотах над уровнем пола $19-24,0^{\circ}\text{C}$, при этом самое низкое значение ($19,2^{\circ}\text{C}$) установлено в помещении лаборатории 2 (контроля качества), самое высокое значение ($24,6^{\circ}\text{C}$) — в пультной ПЭТ КТ.

По результатам замеров относительной влажности наиболее высокие значения зарегистрированы в лаборатории 1 (синтеза) и в лаборатории 2 (контроля качества), самые низкие — в процедурных и месте введения препарата с изотопом ^{18}F пациентам (рис. 3).

Самые высокие значения скорости движения воздуха отмечены в пультной циклотрона на высоте 0,1 м — 0,39 м/с, на высоте 1 м — 0,05 м/с, на высоте 1,7 м — 0,05 м/с, самые низкие — на всех показателях высоты (0–0,01 м/с) в помещениях процедурных и в месте введения препарата с изотопом ^{18}F пациентам.

При обобщённом анализе установлено, что на рабочих местах, где отмечалась высокая дозовая нагрузка при работе с ^{18}F , были зафиксированы наиболее критичные показатели микроклимата (таблица).

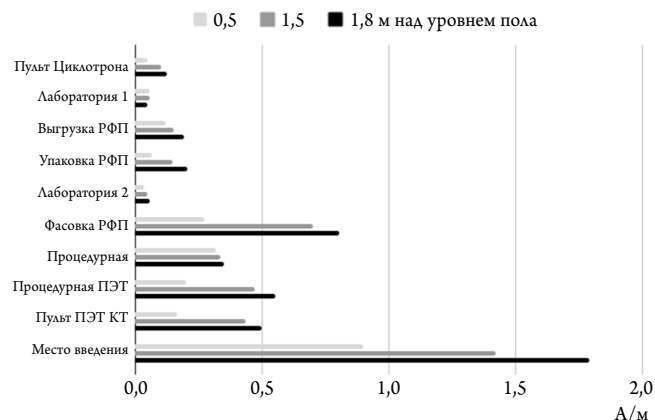


Рис. 2. Результаты измерений напряжённости магнитного поля (А/м) в радионуклидном отделении ПЭТ-центра при работе с фтор-18

Fig. 2. The results of measurements of the magnetic field strength (A/m) in the radionuclide department of the PET center when working with fluorine-18

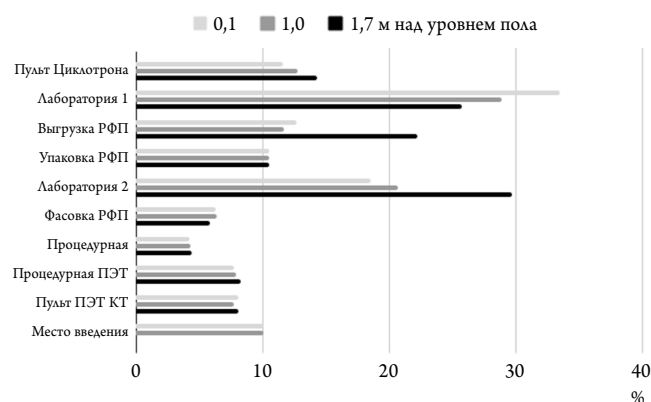


Рис. 3. Результаты измерений относительной влажности воздуха (%) в радионуклидном отделении ПЭТ-центра при работе с фтор-18

Fig. 3. The results of measurements of relative humidity (%) in the radionuclide department of the PET centre when working with fluorine-18

Параметры электромагнитных полей и микроклимата на рабочих местах радионуклидного отделения ПЭТ-центра
Microclimate parameters at workplaces in the radionuclide department of the PET center

Рабочее место	Должность	Напряжённость ЭП, кВ/м	Напряжённость МП, А/м	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Фасовка РФП	Фасовщик РФП	1,73±0,17	17,2±0,88	19,4±1,18	28,9±1,59	0,02±0,01
Процедурная	Медсестра	0,68±0,09	7,5±0,59	22,9±1,68	4,3±0,59	0–0,01±0,01
Процедурная ПЭТ	Рентгенлаборант	0,43±0,04	11,1±1,13	23,1±1,41	8,1±0,58	
Место введения РФП	Медсестра или рентгенлаборант	0,63±0,08	37,4±1,31	21,1±1,22	10,1±0,95	0–0,01±0,01

Анализ данных позволяет констатировать, что основные параметры микроклимата и электромагнитных полей в радионуклидном отделении ПЭТ-центра соответствуют установленным нормативам СанПиН 1.2.3685-21, результаты оценок показателей электромагнитных полей также укладываются в рамки нормативов, принятых в Российской Федерации [10].

Тем не менее, можно отметить особенности условий труда на рабочих местах с прямым контактом с радионуклидом ^{18}F . Ранее отмечалось, что наибольшее время контакта с радионуклидом и тем самым большее время облучения работников отмечается на рабочих местах радиохимической лаборатории при синтезе, транспортировке, введении и утилизации радионуклида фтор-18 [11].

Как показало наше исследование, были зарегистрированы более высокие уровни электромагнитных полей, а также снижение показателей относительной влажности и скорости движения воздуха в отдельных зонах, где медицинские работники (медицинские сёстры и рентгенолаборанты) выполняют задачи, требующие высокой концентрации внимания и точности движений, что важно для сокращения времени контакта с радионуклидами при его введении пациентам [12].

Важно понимать, что соблюдение нормативных параметров микроклимата на рабочих местах способствует сохранению оптимального функционального состояния организма работающих и упомянутых выше характеристик работоспособности, так как приводит к сокращению времени манипуляций и тем самым способствует уменьшению уровней воздействия ионизирующего излучения на медицинских работников от радиоактивных изотопов, вводимых пациентам.

Автоматизация процесса производства радиоизотопа ^{18}F значительно улучшает условия радиационной безопасности для медицинских работников отделения. Однако в ПЭТ-центре существуют рабочие зоны, где необходимо выполнение ручных операций, таких как введение индивидуально подобранного объёма радиофармацевтического препарата, меченного радионуклидом, его утилизация, инструктирование медперсоналом пациента с инкорпорацией активных изотопов, проведение процедуры ПЭТ-сканирования с подготовленным к исследованию пациентом [13–15].

Авторы обзора [16] подчёркивают, что меры радиационной безопасности включают стандартизацию рабочего процесса персонала при работе с радиоизотопом ^{18}F . Это способствует достижению сокращения экспозиции радиационного воздействия на пациентов и медработников в процессе прямого контакта с мечеными субстанциями,

и улучшению точности, чувствительности и информационной значимости диагностического метода.

В этом контексте учёт любых дополнительных факторов, в том числе параметров микроклимата на рабочих местах, соответствует международному принципу ALARA (от англ. «As Low As Reasonably Achievable» или «на столько низко, насколько разумно достижимо»), так как это также направлено на минимизацию индивидуальной радиационной нагрузки на медицинских и других радионуклидного отделения ПЭТ-центра [17].

В процессе проведения исследования отмечено также, что работники при неблагоприятных микроклиматических условиях (повышенная температура воздуха, неэффективная вентиляция и др.) для восстановления самочувствия нередко самостоятельно осуществляет ротацию на рабочих местах, что приводит нарушению планируемых уровней дозовой нагрузки на сотрудников в течение рабочего дня. Это подчёркивает важность соблюдения мер контроля условий труда на рабочих местах и выполнения плана-графика работ медицинских работников с источниками ионизирующего излучения, что способствует профилактике негативных эффектов для здоровья и повышает эффективность и безопасность труда.

В целом, контроль параметров микроклимата и дозовой нагрузки медицинских работников радионуклидного отделения, совершенствование специальных навыков, необходимых медработникам на рабочих местах, направлен на снижение доз облучения работников при контакте с радиофармпрепаратами и на обеспечение радиационной безопасности в отделении.

Выводы:

1. Показатели электромагнитных полей и микроклимата в радионуклидном отделении ПЭТ-центра в основном соответствуют гигиеническим нормативам на рабочих местах производственных помещений.

2. За исключением отклонений параметров микроклимата от нормы в радиохимической лаборатории, пультной зоне ПЭТ-сканирования и в месте введения РФП пациентам.

3. Контроль параметров электромагнитных полей и микроклимата важен для улучшения условий труда работников радионуклидного отделения ПЭТ-центра, что способствует сохранению функционального состояния работающих на высоком уровне, увеличению концентрации внимания и точности движений, повышает скорость рабочих манипуляций и позволяет сократить время контакта с радионуклидами при его введении пациентам и тем самым снизить дозовую нагрузку на медработников.

Список литературы (пп. 1, 2, 13–15, 17 см. References)

3. Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В. и др. Тенденция развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. *Радиационная гигиена*. 2022; 4: 122–133. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133>
4. Голиков В.Ю., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смоляручук М.Я. Некоторые аспекты радиационной защиты в отделениях радионуклидной терапии. *Радиационная гигиена*. 2021; 14(1): 75–85. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-1-75-85>
5. Охрименко С.Е., Ильин Л.А., Коренков И.П., Морозов С.П., Бирюков А.П., Гомболевский В.А., Прохоров Н.И., Лантух З.А., Рыжов С.А. Оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1331–1337. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-12-1331-1337>
6. «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023».
7. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 г. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2020.
8. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., Кальницкий С.А., Репин В.С., Сарычева С.С., Чипига Л.А. Современные уровни медицинского облучения в России. *Радиационная гигиена*. 2015; 4(8): 67–79.
9. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Онищенко А.Д., Васильев А.В. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности. *Радиационная гигиена*. 2019; 12(4): 56–65. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-56-65>
10. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.; 2021.
11. Охрименко С.Е., Коренков И.П., Прохоров Н.И., Шандала Н.К., Захарова А.В. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 939–946. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946>
12. Рыжов С.А., Водоватов А.В., Солдатов И.В. и др. Предложения по совершенствованию системы радиационной безопасности при медицинском облучении. *Радиационная гигиена*. 2022; 15(3): 99–109. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109>
16. Рыжов С.А. Радиационные аварии и ошибки деятельности медицинского персонала. *Медицинская физика*. 2022; 3(95): 31–32.

References

1. Yamamoto H., Hattori T. Synthesis of Fluorine-Containing Amino Acids from Sulfamidates and Potassium Fluoride. *Synfacts*. 2022; 18(05): 567. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1737573>
2. Orlovskaja V.V., Fedorova O.S., Studentov E.P. et al. New fluorine-18 labelled benzaldehydes as precursors in the synthesis of radiopharmaceuticals for positron emission tomography. *Russian Chemical Bulletin*. 2016; 65: 507–512. <https://doi.org/10.1007/s11172-016-1330-2>
3. Chipiga L.A., Ladanova E.R., Vodovatov A.V., et al. Trend in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya gigiena*. 2022; 4: 122–133 (in Russian).
4. Golikov V.Yu., Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Smolyarchuk M.Ya. Some aspects of radiation protection in radionuclide therapy departments. *Radiatsionnaya gigiena*. 2021; 14(1): 75–85 (in Russian).
5. Okhrimenko S.E., Ilyin L.A., Korenkov I.P., Morozov S.P., Biryukov A.P., Gombolevsky V.A., Prokhorov N.I., Lantukh Z.A., Ryzhov S.A. Optimization of radiation doses to patients in radiation diagnostics. *Gigiena i sanitariya*. 2019; 98(12): 1331–1337 (in Russian).
6. "On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2022: State report. M.: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2023".
7. Results of radiation-hygienic certification in the constituent entities of the Russian Federation for 2019. M.: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare; 2020.
8. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Zvonova I.A., Kalnitsky S.A., Repin V.S., Sarycheva S.S., Chipiga L.A. Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya gigiena*. 2015; 4(8): 67–79 (in Russian).
9. Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Onishchenko A.D., Vasilyev A.V. The problem of radon exposure in buildings with a high energy efficiency class. *Radiatsionnaya gigiena*. 2019; 12(4): 56–65 (in Russian).
10. SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and(or) harmlessness of environmental factors to humans". M.; 2021 (in Russian).
11. Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Prokhorov N.I., Shandala N.K., Zakharova A.V. Radiation-hygienic assessment of modern medical technologies. *Gigiena i sanitariya*. 2020; 99(9): 939–946 (in Russian).
12. Ryzhov S.A., Vodovatov A.V., Soldatov I.V. and others. Proposals for improving the radiation safety system for medical exposure. *Radiatsionnaya gigiena*. 2022; 15(3): 99–109 (in Russian).
13. Omer Hiba, Salah H., Taman N. et al. Assessment of occupational exposure from PET and PET/CT scanning in Saudi Arabia. *Applied Radiation and Isotopes*. 2023; 194(04): 110642.S. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110642>
14. Mario Marengo, Sietske Rubow. The relative contribution of photons and positrons to skin dose in the handling of PET radiopharmaceuticals. *Applied Radiation and Isotopes*. 2023; 194(04): 11070. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110705>
15. Elshami Wiam, Uslu Erdemir R., Abuzaid M.M., Cavli Baris, Issa Bashar, Tekin H.O. Occupational radiation dose assessment for nuclear medicine workers in Turkey: A comprehensive investigation. *Journal of King Saud University. Science*. 2022; 34: 20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102005>
16. Ryzhov S.A. Radiation accidents and errors in the activities of medical personnel. *Meditsinskaya fizika*. 2022; 3(95): 31–32 (in Russian).
17. Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I. Annex A.