

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ДИАГНОСТИЧЕСКОМ МЕДИЦИНСКОМ ОБЛУЧЕНИИ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

А.В. Водоватов^{1,2}, И.К. Романович¹, А.В. Алехнович³, А.М. Библин¹, Р.Р. Ахматдинов¹, П.С. Дружинина¹, Ю.Н. Капырина², С.А. Рыжов^{4,5,6}

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Роспотребнадзора, Санкт-Петербург,

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

³ Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневского, Москва

⁴ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

⁵ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Минздрава России, Москва

⁶ Ассоциация медицинских физиков России, Москва

RADIATION SAFETY OF PATIENTS IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY IN THE RUSSIAN FEDERATION: CURRENT STATUS, PROBLEMS AND SOLUTIONS

A.V. Vodovатов^{1,2}, I.K. Romanovich¹, A.V. Alekhnovich³, A.M. Biblin¹, R.R. Akhmatdinov¹, P.S. Druzhinina¹, Yu.N. Kapyrina², S.A. Ryzhov^{4,5,6}

¹ P.V. Ramzaev Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene, Saint-Petersburg, Russia

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

³ National Medical Research Center for High Medical Technologies - A.A. Vishnevsky Central Military Clinical Hospital, Moscow, Russia

⁴ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁵ Dmitry Rogachev National Medical Research Center for Children's Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

⁶ Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

Реферат

Проведен анализ структуры и коллективной дозы для диагностических рентгенорадиологических исследований в Российской Федерации за период 2018–2022 гг. с целью оценки трендов развития лучевой диагностики. Работа была выполнена по результатам анализа форм федерального государственного статистического наблюдения (радиационно-гигиенических паспортов и

формы №3-ДОЗ за период 2018–2022 гг.). Результаты анализа показали, что рассмотренный временной промежуток целесообразно разделить на несколько периодов: допандемийный (2018–2019 гг.), пандемийный (2020–2021 гг.) и постпандемийный (2022 г.). Каждый из них характеризуется своими особенностями структуры лучевой диагностики и, как следствие, коллективной дозы за счет медицинского облучения. На протяжении всего рассмотренного периода коллективная доза от медицинского облучения увеличилась в полтора раза – с 85 тыс. чел.-Зв до 134 тыс. чел.-Зв, главным образом за счет компьютерной томографии, вклад которой изменялся с 54 % в 2018 г. до 74 % в 2022 г. Результаты анализа распределений средних доз за процедуру для наиболее распространенных рентгеновских процедур показали, что средние дозы достоверно не изменялись за рассмотренный период. Были определены регионы Российской Федерации систематически представляющие некорректные (заниженные) средние дозы. По результатам анализа данных были сформулированы конкретные предложения по совершенствованию системы обеспечения радиационной безопасности пациентов при медицинском облучении. Успешная практическая реализация этих предложений позволит получать достоверную информацию об уровнях медицинского облучения для пациентов и персонала в Российской Федерации и избежать чрезмерного роста доз медицинского облучения.

Ключевые слова: рентгенорадиологические исследования, население России, эффективная доза, коллективная доза, форма №3-ДОЗ, радиационно-гигиенический паспорт, радиационная безопасность

Abstract

The paper presents an analysis of the structure and collective dose of diagnostic X-ray examinations in the Russian Federation in 2018-2022 to assess the trends in the development of Russian X-ray diagnostics. The study was performed based on the results of the analysis of federal state statistical observation forms (radiation-hygienic passports and form №3-DOZ for the 2018-2022 period). The results of the analysis indicated that the considered time interval can be divided into several periods: pre-pandemic (2018-2019), pandemic (2020-2021) and post-pandemic (2022); each of which had its own features of the structure of X-ray diagnostics and, consequently, the collective dose from medical exposure. During 2018-2022 period collective dose from medical exposure has increased by a factor of 1,5: from 85000 man-Sv to 134000 man-Sv, mainly due to computed tomography. The contribution of computed tomography to the collective dose has increased from 54 % in 2018 to 74 % in 2022. The results of analysis of the distributions of average effective doses for the most common X-ray procedures indicated that, in contrast to the above-mentioned indicators, the average doses did not change significantly over the period considered. The study allowed identifying regions of the Russian Federation systematically presenting incorrect (underestimated) average effective doses from X-ray examinations. Based on the results of analysis, proposals were developed to improve the system of radiation protection of patients from medical exposure. Successful practical implementation of these proposals will allow obtaining reliable data on patient and staff doses in the Russian Federation and avoiding excessive increase in doses from medical exposure.

Key words: radiological examinations, Russia, effective dose, collective dose, form №3-DOZ, radiation-hygienic passport, radiation protection

E-mail: mosrg@mail.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-104-4-33-49>

Введение

Медицинское облучение является одним из основных техногенных факторов воздействия ионизирующего излучения на человека в современном мире. По данным международных отчётов [1–3] и результатов радиационно-гигиенической паспортизации, как в Россий-

ской Федерации, так и в зарубежных странах медицинское облучение находится на втором месте после природного по степени воздействия на население. В отдельных странах (США [2], Япония) вклад медицинского облучения в годовую дозу облучения населения даже превосходит природное. Медицинскому облучению за свою жизнь подвергается большинство

людей на Земле. За период 2018–2022 гг. на каждого жителя Российской Федерации, включая детей и беременных, приходилось в среднем полторы рентгенорадиологические процедуры [4–13]. Таким образом, за всю жизнь россиянин может получить более 100 диагностических исследований, большую часть из которых будут составлять низкодозовые скрининговые исследования, при этом более 75 % всей коллективной дозы связано с проведением компьютерной томографии. Следует отметить, что медицинским облучением, в отличие от природного облучения, существенно легче и эффективнее управлять, т.е. регулировать частоту и кратность проведения рентгенорадиологических процедур (РРП); корректировать дозы облучения за счет их проведения путем практической реализации принципов обоснования и оптимизации [14].

Неотъемлемым компонентом защиты населения от негативных эффектов ионизирующего излучения является обеспечение радиационной безопасности при медицинском облучении. Подходы к защите пациентов при медицинском облучении существенно отличаются от принципов радиационной защиты населения при техногенном или природном облучении. В частности, весьма ограниченно используется или совсем не используется принцип ограничения доз (принцип нормирования), реализующийся через установление ограниченных доз (граничных доз), а не пределов дозы [15]. Основной акцент делается на применение принципов обоснования и оптимизации [16].

За последние пять лет ситуация с медицинским облучением в Российской Федерации, как и в большинстве западных стран, изменилась за счёт пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. Был зафиксирован резкий рост применения компьютерной томографии [17–20]. Одновременно с этим реализация ряда федеральных программ приводит к внедрению и увеличению доступности новых высокоинформативных методов лучевой диагностики (интервенционных исследований, радионуклидных диагностических исследований, совмещенных с компьютерной томографией и пр.). Однако увеличение доступности перечисленных методов диагностики и лечения влечет за собой увеличение индивидуальных и коллективных доз облучения и ассоциированных с ними радиационных рисков. Так, на ближайшие пять лет запланировано существенное развитие методов ядерной медицины. По по-

ручению Президента России ядерная медицина впервые войдет в национальный проект, став частью нацпроекта “Продолжительная и активная жизнь”, а Правительство РФ должно усилить работу по внедрению методов ядерной медицины в здравоохранение (<https://ria.ru/20240618/mishustin-1953712803.html>). Поэтому одной из основных задач радиационной гигиены является своевременное отслеживание изменения в трендах развития лучевой диагностики и адаптация системы радиационной защиты под современные технологии и практики [14].

В 2019 г. авторами статьи был проведен анализ ситуации с медицинским обучением в Российской Федерации и зарубежных странах [21, 22]. Были оценены тренды развития медицинского облучения и сформированы рекомендации по совершенствованию системы радиационной защиты. В дальнейшем были проведены оценки воздействия от ядерной медицины [23] и в интервенционной радиологии [24]. Спустя пять лет целесообразно ещё раз вернуться к сделанным ранее рекомендациям и скорректировать их исходя из современного состояния ситуации с медицинским облучением пациентов, персонала и населения Российской Федерации.

Следует отметить, что проблема медицинского облучения пациентов и связанных с ним радиационных рисков в последние годы неоднократно поднималась в мировой научной литературе [25–29]. Данные исследования основаны на анализе ограниченных выборок данных, что не позволяет выполнить оценку их репрезентативности и достоверности для российской популяции. Вышедший в 2021 г. отчет НКДАР ООН основан на результатах сбора данных, выполненного в период 2015–2019 гг. Использовать его в качестве сравнения нецелесообразно. Других глобальных источников по состоянию медицинского облучения в мире, или в отдельных зарубежных странах, которые можно было бы применить к Российской Федерации, нет.

Целью данной работы является анализ трендов развития рентгеновской и радионуклидной диагностики в Российской Федерации за последние пять лет и корректировка на основе анализа ранее сделанных предложений по совершенствованию системы радиационной защиты при медицинском облучении.

Материал и методы

В работе был выполнен анализ динамики числа, коллективных доз и средних эффективных доз для наиболее распространенных диагностических рентгенорадиологических процедур. Анализ структуры и уровней облучения пациентов при процедурах лучевой и радионуклидной терапии не проводился в связи с отсутствием таких данных в системах федеральной государственной статистической отчетности.

Анализ основных показателей был проведен с использованием сведений, содержащихся в основных источниках информации о структуре лучевой диагностики и коллективных дозах облучения населения Российской Федерации: таблиц 5.1 радиационно-гигиенических паспортов за период 2018–2022 гг.*; таблиц формы 1000, 1100, 2000 и 2100 федерального государственного статистического наблюдения №3-ДОЗ “Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований” за период 2018–2022 гг.; справочниках “Радиационная обстановка на территории Российской Федерации” за период 2018–2022 гг. [4–13]. При этом использовалась методика обработки данных, представленная в предыдущих работах авторов [14], с учетом имеющихся ограничений [30].

Средние эффективные дозы (СЭД) для КТ-исследований различных анатомических областей определяли для каждого из субъектов Российской Федерации за каждый год для периода 2018–2022 гг. как отношение коллективной дозы для данного исследования к числу выполненных исследований. При этом использовали данные только из таблиц 2000 и 2100 формы №3-ДОЗ.

Данные о численности населения Российской Федерации за исследуемый период были

получены с официального сайта Федеральной службы государственной статистики [31].

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Excel и Statistica 12.

Результаты и обсуждение

1. Структура лучевой диагностики и уровней облучения населения Российской Федерации

За период 2018–2022 гг. В Российской Федерации наблюдается рост числа медицинских организаций, работающих с радиационными источниками: за рассмотренный период их число выросло на 10 % (в среднем на 2 % в год). Данный рост не замедлялся даже в период пандемии COVID-19 (рис. 1). Данный тренд является достоверным и достаточно выраженным, однако следует оговориться, что крайне сложно оценить профиль организаций, определивших основной прирост показателя. Вполне вероятно, основная динамика связана со стоматологией, вклад которой в коллективную дозу населения не превышает нескольких процентов.

Динамика числа и коллективной дозы для различных видов РРП в Российской Федерации за период 2018–2022 гг. представлена в табл. 1 и 2 соответственно.

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет сделать вывод о том, что структура лучевой диагностики в Российской Федерации за рассмотренный период практи-

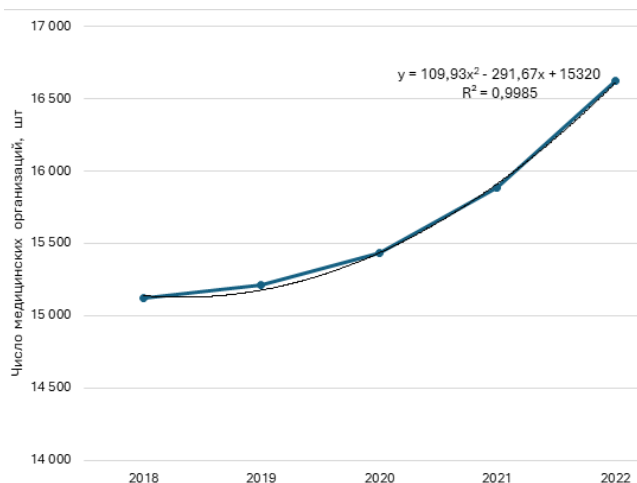


Рис. 1. Динамика числа медицинских организаций с ИИИ в Российской Федерации за период 2018–2022 гг.

* Приказ Минздрава РФ N 239, Госатомнадзора РФ N 66, Госкомэкологии РФ N 288 от 21.06.1999 “Об утверждении методических указаний” (вместе с “Порядком ведения радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий (методические указания)”) [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation N 239, Gosatomnadzor of the Russian Federation N 66, Goscomecology of the Russian Federation N 288 dated 06/21/1999 “On approval of guidelines” (with the “Procedure for maintaining radiation-hygienic passports of organizations and territories (guidelines)”)]

Таблица 1

Динамика числа рентгенорадиологических процедур в Российской Федерации для различных видов лучевой диагностики по данным радиационно-гигиенической паспортизации

Год	2018	2019	2020	2021	2022
Флюорография	86 916	89 174	81 143	77 723	78 526
Рентгенография	185 451	195 547	169 167	176 965	185 683
Рентгеноскопия	1 640	1 588	1 078	1 086	1 137
Компьютерная томография	11 881	13 727	21 844	27 617	24 082
Специальные (интервенционные) исследования	1 430	–	–	1 629	1 781
Радионуклидная диагностика	582	605	577	715	755
Прочие исследования	208	2 508	1 637	415	426
Всего	288 122	303 149	275 446	286 150	292 388

Таблица 2

Динамика коллективной дозы в Российской Федерации для различных видов лучевой диагностики по данным радиационно-гигиенической паспортизации, чел.-Зв

Год	2018	2019	2020	2021	2022
Флюорография	5834	5412	4704	4266	4487
Рентгенография	17820	17132	12924	11939	11707
Рентгеноскопия	4546	4230	2878	2848	2935
Компьютерная томография	45208	50790	88533	110617	99051
Специальные (интервенционные) исследования	7696	–	–	7329	6332
Радионуклидная диагностика	2540	3147	3757	6049	7635
Прочие исследования	498	8906	7159	484	2647
Всего	84157	89705	119972	143532	134791

чески не изменилась. Основной вклад в структуру лучевой диагностики вносят рентгенографические и флюорографические процедуры: 64 % и 27 % вклада в среднем соответственно. Данные показатели значимо не меняются даже в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. Вклад компьютерной томографии постепенно растет: с 4 % в 2018 г. до 10 % в 2021 г. В 2022 г. зафиксировано снижение вклада компьютерной томографии до 8 %. Остальные высокодозовые исследования (рентгеноскопия, интервенционные исследования, радионуклидная диагностика) в совокупности вносят менее 2 % вклада в структуру лучевой диагностики.

Иная картина наблюдается при анализе данных по изменению коллективной дозы медицинского облучения населения Российской Федерации (табл. 2). За период с 2018 по 2022 г. коллективная доза увеличивается практически в полтора раза – с 85 тыс. чел.-Зв до 134 тыс. чел.-Зв. Основной вклад в коллективную дозу за исследованный период вносит компьютерная томография, вклад которой изменяется с 54 % в 2018 г. до 74 % в 2022 г. Максимальный

вклад в коллективную дозу (77 %) компьютерная томография вносила в 2021 г. Наиболее распространённые рентгенографические и флюорографические исследования суммарно, по состоянию на 2022 г., вносят около 10 % в коллективную дозу. Их вклад существенно снижается в течение обследованного периода: с 20 % в 2018 г., до 9 % в 2022 г. Вклад рентгеноскопических, интервенционных и радионуклидных исследований в целом значимо за обследованный период не менялся. Отдельные колебания во вкладе и числе интервенционных исследований связаны с периодическим отношением данных исследований к категории “Прочие”. Также следует отметить, что данные по коллективным дозам медицинского облучения представляют собой скорее нижнюю границу уровней облучения населения Российской Федерации в связи с высоким процентом использования типовых (табличных) значений эффективных доз при определении эффективных доз за исследование.

За обследованный период представляется возможным выделить три периода изменения структуры лучевой диагностики в Россий-

ской Федерации и ассоциированного изменения коллективной дозы при медицинском облучении:

Период 2018–2019 гг.: допандемийный период. Данный этап характеризуется планомерным увеличением числа всех рентгенорадиологических процедур с соответствующим ростом коллективной дозы. При этом наблюдается сокращение коллективных доз при проведении рентгенографических и флюорографических исследований за счет внедрения современной низкодозовой техники при росте числа исследований.

Период 2020–2021 гг.: Период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. В 2020 г. резко изменяется структура лучевой диагностики в связи с преимущественным использованием компьютерной томографии для ранней (первичной) диагностики COVID-19 и для оценки эффективности проводимого лечения. Также происходит перевод ряда медицинских организаций исключительно под лечение больных с COVID-19, закрытие отдельных медицинских организаций или отделений на карантин в связи с COVID-19 и, как следствие, сокращение объемов плановой медицинской помощи, в том числе и процедур лучевой диагностики. Одновременно с этим с середины 2020 г. наблюдается резкое увеличение числа действующих компьютерных томографов. Общее число рентгенологических процедур сокращается, а коллективная доза растёт за счёт компьютерных томографии. В 2021 г. начинается постепенный возврат медицинских организаций к режиму нормального функционирования с постепенным ростом числа рентгенорадиологических процедур. Данный рост обусловлен в первую очередь восстановлением в 2021 г. объемов плановой медицинской помощи населению, в том числе и процедур лучевой диагностики, и возвратом большинства медицинских организаций к нормальному режиму работы. Однако количество процедур компьютерной томографии органов грудной клетки, выполненных в связи с COVID-19, продолжает оставаться высоким. По мере оснащения медицинских организаций новыми компьютерными томографами и увеличением интенсивности использования существующих, число процедур компьютерной томографии продолжает расти. При этом в данный период зафиксирован рост числа диагностических радионуклидных исследований. Данный факт объясняется введением в эксплуатацию большого количества со-

временного высокодозового оборудования для ядерной медицины (аппаратов ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ) и открытием новых центров ПЭТ-диагностики.

Период 2022 г. и далее: Восстановление после пандемии COVID-19. Данный этап характеризуется значимым сокращением числа компьютерных томографий, выполненных в связи с COVID-19 и, как следствие, снижением коллективной дозы от компьютерной томографии. Число всех остальных рентгенорадиологических процедур постепенно возвращается на доковидный уровень. Тем не менее, число выполненных процедур за исключением компьютерной томографии и диагностических радионуклидных исследований в 2022 г. ниже аналогичных показателей в 2019 г. Значительное снижение числа компьютерно-томографических исследований связано с сокращением исследований органов грудной клетки, выполнявшихся пациентам с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. В 2022 г. компьютерных томографий органов грудной клетки было выполнено на 40% меньше по сравнению с 2021 г. Рост радионуклидных диагностических процедур продолжается.

Одной из основных характеристик медицинского облучения населения является средняя эффективная доза облучения на одного жителя. В табл. 3 представлена динамика средней эффективной дозы на одного жителя Российской Федерации за счёт диагностического медицинского облучения.

В допандемийный период средняя эффективная доза на жителя держится примерно на одном уровне – 0,6 мЗв. В период пандемии COVID-19 наблюдается резкое увеличение средней эффективной дозы с максимумом в 2021 г. в 1 мЗв. В 2022 г. средняя эффективная доза снижается до 0,86 мЗв. Основной вклад в структуру средней дозы вносит компьютерная томография; все изменения связаны исключительно с данным методом лучевой диагностики. Для всех остальных методов лучевой диагностики средняя доза на одного жителя в рассматриваемый период остается практически неизменной.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что основным дозообразующим фактором медицинского облучения населения Российской Федерации за рассмотренный период являлась компьютерная томография. Отдельно следует выделить интервенционные исследования и радионуклидную диагностику, ко-

Таблица 3

Структура и динамика средней эффективной дозы на одного жителя Российской Федерации за счет диагностического медицинского облучения в период 2018–2022 гг., мЗв

Виды исследований	2018	2019	2020	2021	2022
Флюорография	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Рентгенография	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08
Рентгеноскопия	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Компьютерная томография	0,31	0,34	0,6	0,76	0,63
Специальные (интервенционные) исследования	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06
Радионуклидная диагностика	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Прочие	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
Всего	0,57	0,6	0,81	0,99	0,86

торые показывают тенденцию к росту за последние три года. Данные методы лучевой диагностики ассоциированы с высокими индивидуальными дозами облучения пациентов, поэтому на них также следует обратить внимание при разработке новых методов радиационной защиты.

На рис. 2 представлены тренды изменения средних эффективных доз за процедуру в целом по Российской Федерации и разброс доз облучения по отдельным субъектам для наиболее распространенных видов рентгенологических процедур.

Представленные данные свидетельствуют о том, что за анализируемый период средние дозы достоверно не изменяются для всех рассмотренных рентгенорадиологических процедур, в том числе и для компьютерной томографии органов грудной клетки в период пандемии COVID-19. Средние эффективные дозы для всех рассмотренных процедур весьма близки к типичным значениям эффективных доз, представленных в методических рекомендациях по заполнению формы №3-ДОЗ*. Это позволяет сделать вывод о крайне формальном подходе к заполнению формы №3-ДОЗ даже в разделе “измерения”.

Ряд регионов Российской Федерации систематически предоставляет информацию об аномально высоких или, напротив, аномально низких средних эффективных дозах для всех

рассмотренных рентгенорадиологических процедур. Аномально низкие (близкие к нулю) средние эффективные дозы наблюдаются для всех рассмотренных видов лучевой диагностики, в том числе и для интервенционных исследований.

Аномально низкие дозы для всех выбранных рентгенорадиологических процедур за рассматриваемый временной промежуток наблюдались в одних и тех же регионах: республиках Северного Кавказа, Республике Крым, Оренбургской области, Красноярском крае, Республике Тыва, Амурской области. Из региональных форм №3-ДОЗ возможно получить средние дозы за процедуру, полученные путем усреднения данных из всей совокупности медицинских организаций из данного региона. Таким образом, часть медицинских организаций в регионе будут иметь еще более низкие дозы. Следует отметить, что за исключением рентгенографических исследований зубов и конечностей, физически невозможно получение полноценного рентгеновского изображения с дозой облучения пациентов менее 50–100 мкЗв. Для всех исследований компьютерной томографии, за исключением низкодозовой компьютерной томографии органов грудной клетки для скрининга рака легкого, минимальной дозой облучения пациента для формирования полноценного изображения можно считать 2–3 мЗв. Для интервенционных исследований дозы для ряда процедур могут достигать десятков миллизиверт (например, для операций на сердце и головном мозге) [32]. Аномально низкие дозы являются исключительно результатом ошибок при заполнении форм №3-ДОЗ на объектовом и региональном уровнях, а также отсутствием действующей системы контроля и учета доз облучения пациентов в медицинских организациях данных регионов.

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

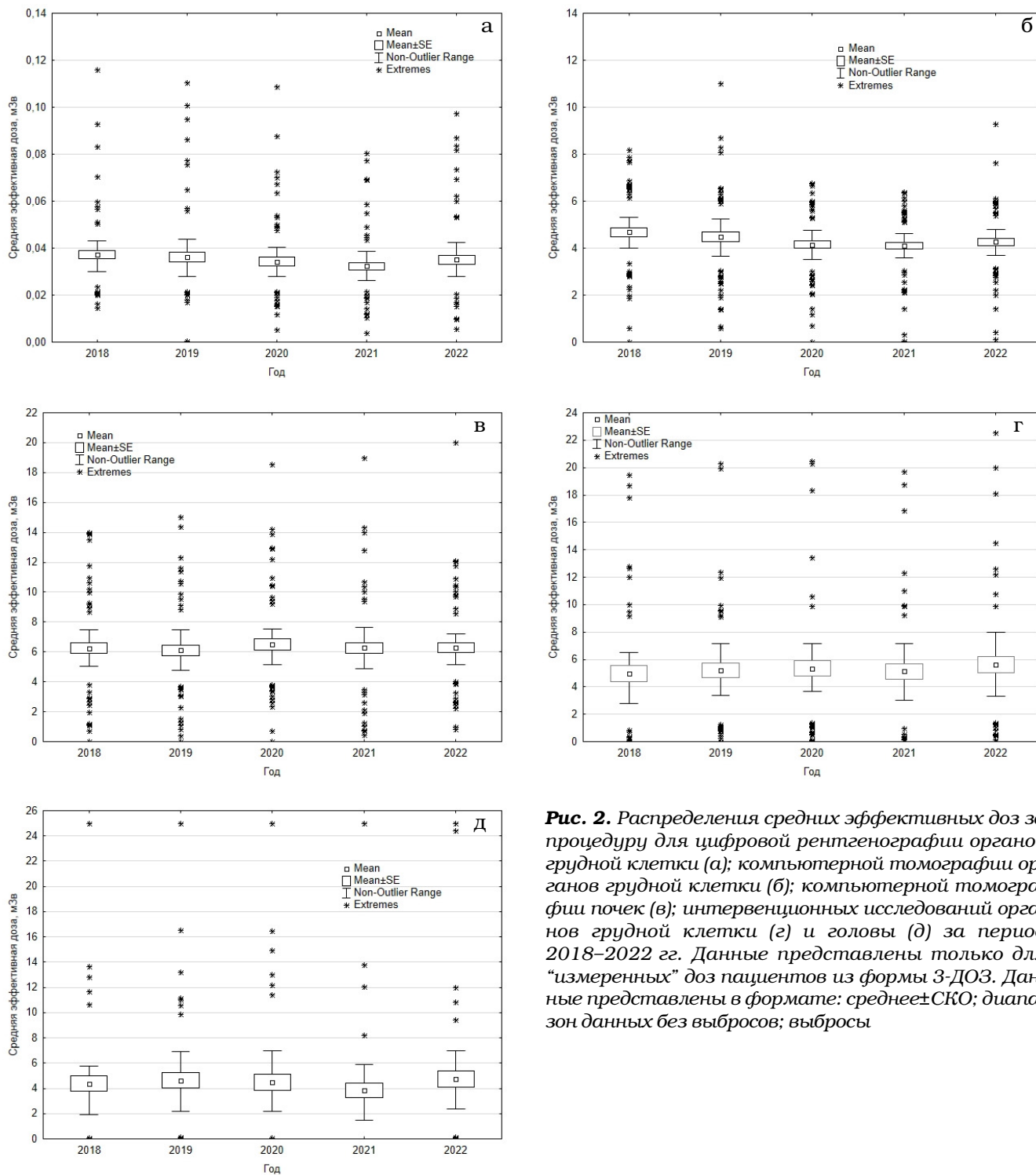


Рис. 2. Распределения средних эффективных доз за процедуру для цифровой рентгенографии органов грудной клетки (а); компьютерной томографии органов грудной клетки (б); компьютерной томографии почек (в); интервенционных исследований органов грудной клетки (г) и головы (д) за период 2018–2022 гг. Данные представлены только для “измеренных” доз пациентов из формы 3-ДОЗ. Данные представлены в формате: среднее±СКО; диапазон данных без выбросов; выбросы

Наличие anomalно высоких доз для всех рассмотренных исследований, напротив, свидетельствует о попытках учесть всю специфику выполнения данных процедур. Так, для компьютерной томографии высокие средние эф-

фективные дозы за процедуру свидетельствуют о преобладании многофазных исследований с внутривенным контрастированием, которые учитываются вместе с исследованиями, проводимыми без контраста, и тем самым завышают

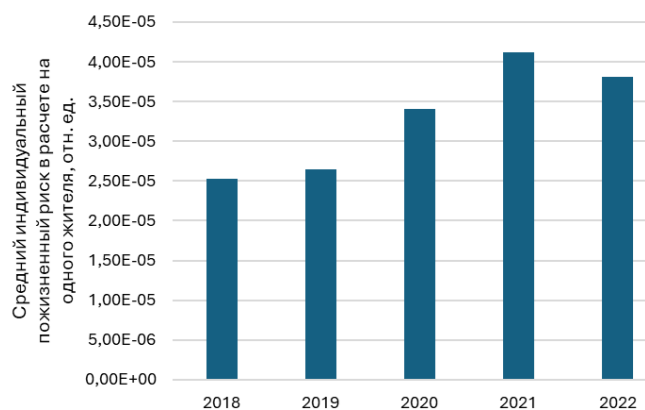


Рис. 3. Динамика среднего индивидуального пожизненного риска в расчете на одного жителя Российской Федерации в 2018–2022 гг. за счет медицинского облучения

среднюю дозу. Данные по компьютерной томографии были представлены авторами в предыдущих работах [33].

Для гигиенической оценки воздействия медицинских источников ионизирующего излучения на население Российской Федерации была выполнена оценка радиационных рисков (рис. 3).

Тренды изменения среднего индивидуального пожизненного риска на душу населения за рассмотренный период аналогичны изменению средней эффективной дозы на душу населения за счет медицинского облучения: незначительный рост в допандемийный период; более выраженный рост в период пандемии COVID-19; снижение в постпандемийный период. При этом переход риска из одной категории в другую отсутствует, что свидетельствует об отсутствии значимых различий между различными годами. Средний индивидуальный пожизненный риск в расчете на одного жителя Российской Федерации находится на уровне минимального.

2. Существующие проблемы и их решения

Как следует из представленного материала, основной вклад в структуру медицинского облучения населения Российской Федерации (более 70 %) вносит компьютерная томография. Именно компьютерная томография является наиболее перспективным методом лучевой диагностики для применения всех принципов радиационной защиты на практике. На втором месте по степени актуальности оптимизации радиационной защиты находятся интер-

венционные исследования и радионуклидная диагностика как исследования, ассоциированные с высокими индивидуальными дозами облучения пациентов. На текущий момент маловероятным является дальнейшее увеличение вклада компьютерной томографии в коллективную дозу медицинского облучения населения Российской Федерации. Единственная возможность реализации такого сценария – возникновение новой чрезвычайной ситуации (например, новой пандемии), главным методом диагностики при которой будет являться компьютерная томография.

Действующая система сбора данных в рамках форм федерального государственного статистического наблюдения, к сожалению, не выделяет и не позволяет оценить отдельно дозы облучения при проведении наиболее высокодозовых видов компьютерной томографии – многофазных компьютерно-томографических исследований с контрастом [32]. Количество компьютерных томографий, выполняющихся с применением контрастных препаратов, в Российской Федерации неизвестно. В рамках существующей формы №3-ДОЗ такие исследования объединены вместе с однофазными исследованиями, что приводит к существенному занижению данных по дозам пациентов при проведении компьютерной томографии. Форма №30 Минздрава РФ содержит такие сведения, но данную форму заполняют только государственные медицинские организации. В ней отсутствуют сведения из частных медицинских организаций и медицинских организаций федерального подчинения. Аналогичная ситуация наблюдается и для интервенционных исследований. Для них обобщаются данные по диагностическим исследованиям (ангиографиям) и терапевтическим исследованиям, при которых происходит хирургическое вмешательство под контролем рентгеновского излучения. Дозы между данными видами интервенционных исследований могут отличаться вплоть до двух порядков величины [32]. При совершенствовании системы контроля и учёта доз медицинского облучения населения Российской Федерации коллективная доза будет увеличиваться за счёт более достоверного и адекватного учёта доз облучения для высокодозовых исследований.

Как следует из представленных в настоящей работе материалов, диапазоны средних эффективных доз при проведении рентгеновских процедур остаются практически неизмен-

ными год от года. На них не оказали влияние ни пандемия COVID-19, ни обновление аппаратного парка, ни внедрение новых диагностических технологий.

При этом основными являются следующие негативные факторы:

- ✓ Отсутствие выделенного медицинского персонала, имеющего специальную подготовку (медицинских физиков), отвечающего за контроль (измерение и расчет) и учёт индивидуальных доз облучения пациентов, а также заполнение формы государственной статистической отчётности №3-ДОЗ. В Российской Федерации в соответствии с профессиональными стандартами определение и учёт эффективных доз пациентов должен выполнять рентгенолаборант – специалист со средним медицинским образованием, в обязанности которого входят целый ряд иных задач, связанных с проведением рентгенологической процедуры. Дозиметрия пациентов для рентгенолаборантов является непрофильной функцией, а существующей подготовки рентгенолаборантов для решения данной функции недостаточно. Институт медицинских физиков, которые в международной практике являются ответственными за дозиметрию пациентов в лучевой диагностике, в Российской Федерации отсутствует. Отсутствуют требования к подготовке и компетенциям медицинских физиков, до сих пор не утверждён профстандарт медицинского физика, наличие медицинских физиков в отделениях лучевой диагностики до настоящего времени является рекомендательным.
- ✓ Низкий уровень культуры радиационной безопасности в медицинских организациях в целом и отделениях лучевой диагностики в частности. Отсутствие внятного представления о принципах радиационной защиты пациентов, факторах, влияющих на дозы облучения пациентов, о практических аспектах оптимизации проведения рентгеновских процедур приводит к крайне формальному выполнению требований нормативно-методических документов. Аппараты для рентгеновской диагностики эксплуатируются без клинических дозиметров; имеющиеся дозиметры не поверяются [16]. Абсолютно приемлемым является приписывание пациентам неких средних или стандартных эффективных доз, вместо их определения индивидуально для каждого пациента с учётом специфики облучения данного пациента. При заполнении форм государственной статистической отчётности также приемлемым считается заполнение расчётной части формы №3-ДОЗ даже при наличии клинических дозиметров, или организованной системы расчета эффективных доз на основе измеренных дозовых характеристик с целью экономии времени. Также распространённой практикой является заполнение измеряемой части формы №3-ДОЗ по средним дозам облучения.
- ✓ Характерной особенностью заполнения форм федерального государственного статистического наблюдения является боязнь представления высоких доз облучения пациентов. Несмотря на то, что дозы пациентов не нормируются (ограничиваются), в большинстве медицинских организаций стараются не указывать реальные высокие дозы облучения пациентов. Вместо этого используют средние значения из нормативно-методических документов или литературных источников. Это обусловлено опасениями привлечь к себе внимание при сдаче отчётности по дозам облучения пациентов или при проведении очередной проверки.
- ✓ Использование эффективной дозы в качестве основной дозовой величины в рамках системы контроля и учета доз облучения пациентов обуславливает необходимость постоянной актуализации способов её определения. Появление новых методов лучевой диагностики, условий облучения пациентов, отличающихся от традиционных (например, конусно-лучевой компьютерной томографии, новых видов интервенционных исследований, гибридных исследований ядерной медицины) приводит к ситуации, когда способы оценки эффективной дозы на какой-то момент для данных методов отсутствуют. Разработка методов оценки эффективных доз является времязатратным процессом. Использование типичных (средних) значений эффективных доз также не является решением, так как для ряда высокодозовых исследований получить такие значения невозможно из-за высокой вариабельности в методиках проведения исследований, и, как следствие, в уровнях облучения пациентов.
- ✓ На текущий момент форма №3-ДОЗ заполняется и сдается на уровне медицинской организации с усреднением доз облучения для всех аппаратов рентгеновской диагностики. Это не позволяет идентифицировать рентге-

новские аппараты с аномально высокими или аномально низкими дозами облучения пациентов.

- ✓ Основной задачей гигиенической оценки уровней облучения пациентов в медицине является оценка радиационного ущерба от воздействия ионизирующего излучения. Данный радиационный ущерб может быть выражен в различных показателях, в частности, в значениях радиационного риска. Достоверная оценка радиационного риска должна учитывать специфику облучения пациента (количество облучённых радиочувствительных органов, геометрию облучения) а также пол и возраст пациента в момент облучения. Для оценки радиационных рисков на уровне Российской Федерации необходимы данные о половозрастной структуре пациентов для всех видов лучевой диагностики, либо учет индивидуального риска для каждого исследования и пациента. Такая информация отсутствует, либо существенно усложняет методику оценки риска. В связи с этим оценка радиационного риска выполняется с использованием базовых коэффициентов радиационного риска, указанных НРБ-99/2009. Кроме того, радиационные риски, определённые по действующим методикам, практически невозможно сопоставлять с рисками от других факторов, например химическими или биологическими.

Реализация принципов обоснования и оптимизации крайне затруднена без базовых данных об уровнях облучения пациентов. Так, например, установление и применение референсных диагностических уровней неизбежно требует последовательного определения индивидуальных доз облучения пациентов, их статистической обработки с определением стандартных доз облучения пациентов для каждого аппарата рентгеновской диагностики, установления референсных диагностических уровней, сравнения стандартных доз с соответствующими значениями референсных диагностических уровней, и, наконец, коррекции протоколов проведения рентгеновских исследований для поддержания доз облучения пациентов на минимально возможных уровнях. Отсутствие систематической регистрации и учета индивидуальных доз пациентов на постоянной основе в большинстве медицинских организаций не позволяет реализовать на практике принцип оптимизации в целом. Таким образом исполь-

зуемые на практике протоколы сканирования зачастую настраиваются эмпирическим путем без учета лучевой нагрузки. В связи с этим основным вызовом для системы обеспечения радиационной безопасности пациентов при медицинской облучении в Российской Федерации является совершенствование и поддержание на необходимом уровне системы контроля и учёта доз облучения пациентов. Для успешного решения этой задачи необходимо:

- ✓ Обеспечить необходимую достоверность исходных параметров, необходимых для расчёта эффективных доз облучения пациентов. Для этого целесообразно ввести регистрацию не только эффективных доз, но и измеренных дозовых характеристик, на базе которых была определена эффективная доза. Данный подход успешно реализован в радионуклидной диагностике, где измеренное значение введённой активности регистрируется для каждого пациента. Для рентгенографических и рентгеноскопических исследований данное требование потребует оснащения всех рентгеновских аппаратов клиническими дозиметрами. В то же время все компьютерные томографы регистрируют такие характеристики как *CTDI* и *DLP*. Ещё раз следует обратить внимание, что именно для компьютерной томографии контроль индивидуальных доз облучения пациентов наиболее актуален. Регистрация непосредственно измеренных дозовых характеристик пациентов позволит также существенно упростить функционал медицинского персонала. Наличие массива измеренных дозовых характеристик позволит проводить расчёт эффективной дозы в любой момент, а также при необходимости верифицировать результаты таких расчётов.
- ✓ Перейти к учету органов доз, включая входную дозу на кожу при проведении интервенционных исследований.
- ✓ Разрабатывать и совершенствовать методы расчёта эффективных доз для всего спектра рентгеновских процедур. На текущий момент нормативно-методические документы Роспотребнадзора, содержащие методики расчёта эффективных доз, обновляются в среднем один раз в пять–семь лет, что не позволяет оперативно учитывать появление новых диагностических технологий или новые протоколы проведения старых. Целесообразно вносить изменения или дополнения к методам расчёта эффективных доз на более регулярной и частой основе. Разработка ме-

тодов оценки эффективных доз должна быть привязана к процессу государственной регистрации оборудования для рентгеновской диагностики, или методики расчета должны предоставляться при монтаже аппарата.

- ✓ Планомерно совершенствовать федеральные государственные статистические формы по сбору дозовой отчетности. В частности, необходимо актуализировать номенклатуру рентгенологических исследований и вводить учёт исследований, выполненных различным половозрастным категориям пациентов. Минимальном уровнем заполнения форм федеральной государственной статистической отчетности должен являться один аппарат, что позволит своевременно выявлять аппараты с высокими или низкими дозами.
- ✓ Вводить в штат медицинских организаций персонал, ответственный за контроль, анализ и учёт доз облучения пациентов, в частности медицинских физиков. Формально в штат отделений лучевой диагностики медицинские физики введены приказом Минздрава №560н. Однако фактически в отделениях лучевой диагностике они отсутствуют. Наличие медицинского физика позволит выполнять весь комплекс мероприятий по контролю и учёту доз пациентов и оптимизации протоколов проведения исследований и снять эту задачу с рентгенолаборантов.
- ✓ Планомерно повышать уровень культуры радиационной безопасности среди медицинского персонала, проводящего рентгеновские процедуры. Медицинский персонал должен иметь представление о биологических эффектах медицинского облучения, последствиях облучения для пациентов различного пола и возраста, а также факторах, влияющих на дозу облучения пациентов для того, чтобы организовывать свою работу в том числе и с учётом требования к радиационной безопасности. Для этого необходимо ввести чёткие требования к системе профессиональной подготовки персонала различных медицинских специальностей по радиационной безопасности, а также разрабатывать и внедрять учебно-методические пособия по различным аспектам практического обеспечения радиационной безопасности в медицине.
- ✓ Все мероприятия, направленные на обеспечение радиационной безопасности при медицинском облучении, должны быть системати-

ческими и реализовываться на постоянной непрерывной основе, а не быть приуроченными к срокам сдачи статистической отчетности или к проверкам. Для этого необходимо разрабатывать и внедрять программы обеспечения качества в рентгеновской диагностике, объединяющие весь комплекс мер по контролю качества оборудования и обеспечению радиационной безопасности пациентов и персонала в единое целое.

Заключение

За период 2018–2022 гг. структура лучевой диагностики в Российской Федерации практически не изменяется. Основной вклад в структуру лучевой диагностики вносят рентгенографические и флюорографические процедуры: 64 % и 27 % вклада в среднем соответственно. Данные показатели значительно не изменились даже в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. Вклад компьютерной томографии постепенно растет: с 4 % в 2018 г. до 10 % в 2021 г. За рассмотренный период коллективная доза за счет медицинского облучения увеличилась практически в полтора раза – с 85 тыс. чел.-Зв до 134 тыс. чел.-Зв. Основной вклад в коллективную дозу за исследованный период внесла компьютерная томография, вклад которой изменяется с 54 % в 2018 г. до 74 % в 2022 г. Максимальный вклад в коллективную дозу (77 %) компьютерная томография внесла в 2021 г. Наиболее распространённые рентгенографические и флюорографические исследования суммарно, по состоянию на 2022 г., вносят около 10 % в коллективную дозу. Их вклад существенно снижается в течение обследованного периода: с 20 % в 2018 г., до 9 % в 2022 г. Вклад рентгеноскопических, интервенционных и радионуклидных исследований в целом значительно за обследованный период не менялся.

За период 2018–2022 гг. средние эффективные дозы за процедуру достоверно не изменились для всех рассмотренных рентгенорадиологических процедур, в том числе и для компьютерной томографии органов грудной клетки в период пандемии COVID-19.

Ряд регионов Российской Федерации систематически предоставляет информацию об аномально высоких или, напротив, аномально низких средних эффективных дозах для всех рассмотренных рентгенорадиологических про-

цедур. Аномально низкие (близкие к нулю) средние эффективные дозы наблюдаются для всех рассмотренных видов лучевой диагностики, в том числе и для интервенционных исследований.

До 2020 г. средняя эффективная доза на жителя Российской Федерации находилась примерно на одном уровне – 0,6 мЗв. В период пандемии COVID-19 наблюдалось резкое увеличение средней эффективной дозы с максимумом в 2021 г. в 1 мЗв. В 2022 г. средняя эффективная доза снизилась до 0,86 мЗв. Основной вклад в структуру средней дозы вносит компьютерная томография; все изменения связаны исключительно с данным методом лучевой диагностики. Для всех остальных методов лучевой диагностики средняя доза на одного жителя в рассматриваемый период остается практически неизменной.

Таким образом, именно компьютерная томография является наиболее перспективным методом лучевой диагностики для применения всех принципов радиационной защиты на практике. Снижение доз облучения пациентов при проведении компьютерной томографии без потери в качестве получаемой диагностической информации позволит существенно снизить как индивидуальные, так и коллективную дозы облучения население Российской Федерации. Дальнейшие научные исследования по оценке радиационного воздействия в компьютерной томографии должны быть направлены на понимание распределения проводимых исследований и лучевой нагрузки между различными областями сканирования, протоколами исследования и используемым оборудованием.

Основной проблемой при оптимизации радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике является необходимость обеспечить работоспособность системы регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов, в частности: обеспечивать регистрацию не только эффективных доз, но и измеренных дозовых характеристик, на базе которых была определена эффективная доза; разрабатывать и совершенствовать методы расчёта эффективных доз для всего спектра рентгеновских процедур; вводить в штат медицинских организаций персонал, ответственный за контроль, анализ и учёт доз облучения пациентов; повышать уровень культуры радиационной безопасности среди медицинского персонала, проводящего рентгеновские процедуры.

Успешное решение поставленных задач позволит получать достоверную информацию об уровнях медицинского облучения для пациентов и персонала в Российской Федерации и избежать чрезмерного роста доз медицинского облучения.

Список литературы

1. UNSCEAR. Sources and Effects 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: NewYork, UN, 2022.
2. NCRP. Medical Radiation Exposure of Patients in the United States. NCRP REPORT No. 184. 2019: 310.
3. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population Part S. Radiation protection N° 180. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2014: 181 p.
4. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2019: 130.
Results of radiation-hygienic passportization in the constituent entities of the Russian Federation in 2018 (Radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 2019: 130. (In Russ.).
5. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2020: 63.
Results of radiation-hygienic passportization in the constituent entities of the Russian Federation in 2019 (Radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 2020: 63. (In Russ.).
6. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2020 год (радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.:

- Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2021: 66.
Results of radiation-hygienic passportization in the constituent entities of the Russian Federation in 2020 (Radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 2021: 66. (In Russ.).
7. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2021 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2022: 132.
Results of radiation-hygienic passportization in the constituent entities of the Russian Federation in 2021 (Radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 2022: 132. (In Russ.).
8. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2022 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2023: 134.
Results of radiation-hygienic passportization in the constituent entities of the Russian Federation in 2022 (Radiation-hygienic passport of the Russian Federation). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 2023: 134. (In Russ.).
9. Справочник: "Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2022 году". СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева. 2023: 66.
Handbook: "Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2022". St. Petersburg. 2023: 66. (In Russ.).
10. Справочник: "Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году". СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева. 2022: 72.
Handbook: "Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2021". St. Petersburg. 2022: 72. (In Russ.).
11. Информационный сборник: "Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году". СПб.: НИИРГ имени проф. Рамзаева. 2021:83.
Handbook: "Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2020". St. Petersburg. 2021: 83. (In Russ.).
12. Информационный сборник: "Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году". СПб.: НИИРГ имени проф. Рамзаева. 2020: 70.
Handbook: "Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2019". St. Petersburg. 2020: 70. (In Russ.).
13. Информационный сборник: "Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году". СПб, ООО "Аркуш". 2019: 71.
Information handbook: "Radiation doses of the population of the Russian Federation in 2018". St. Petersburg, ООО Arkush. 2019: 71. (In Russ.).
14. Рыжов СА, Водоватов АВ, Солдатов ИВ, Лантух ЗА, Мухортова АН, Дружинина ЮВ, Дружинина ПС. Предложения по совершенствованию системы радиационной безопасности при медицинском облучении. Часть 1. Анализ информации, содержащейся в государственных отчетных формах и информационных базах данных, на примере города Москвы. Радиационная гигиена. 2022; 15 (3): 92-109. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109>.
Ryzhov SA, Vodovatov AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Mukhortova AN, Druzhinina YuV, Druzhinina PS. Proposals for Improving the System of Radiation Safety in Medical Exposure. Part 1. Analysis of information contained in state reporting forms and information databases in Moscow. Radiation Hygiene. 2022; 15 (3): 92-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-92-109>. (In Russ.).
15. Водоватов АВ. Совершенствование норм радиационной безопасности. Часть 1: Целесообразность ограничения доз медицинского облучения практически здоровых лиц. Радиационная гигиена. 2018; 11 (3): 115-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124>.
Vodovatov AV. Improvement of radiation safety standards. Part 1. Appropriateness of the limitation of the medical exposure of healthy individuals. Radiation Hygiene. 2018; 11 (3): 115-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124>. (In Russ.).
16. Водоватов АВ. Практическая реализация концепции референтных диагностических

- уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований. Радиационная гигиена. 2017; 10 (1): 47-55. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55>.
- Vodovатов AV. Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations. Radiation Hygiene. 2017; 10 (1): 47-55. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55>. (In Russ.).
17. Попова АЮ, Водоватов АВ, Романович ИК, Рыжов СА, Дружинина ПС, Ахматдинов РР. Влияние пандемии COVID-19 на структуру лучевой диагностики и коллективные дозы населения Российской Федерации при медицинском облучении в 2020 г. Радиационная гигиена. 2022; 15 (3): 6-39. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39>.
- Popova AYU, Vodovатов 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. Radiation Hygiene. 2022; 15 (3): 6-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-3-6-39>.
18. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва. Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы. 2021: 108 с.
- Radiation diagnostics of coronavirus disease (COVID-19): organization, methodology, interpretation of results. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow. 2021: 108 p. (In Russ.).
19. Дружинина ЮВ, Рыжов СА, Водоватов АВ, Солдатов ИВ, Лантух ЗА, Мухортова АН, Лубенцова ЮН. Влияние Covid-19 на динамику изменений дозовой нагрузки на пациентов при проведении компьютерной томографии в медицинских организациях Москвы. Digital Diagnostics. 2022; 3 (1): 5-15.
- Druzhinina YuV, Ryzhov SA, Vodovатов AV, Soldatov IV, Lantukh ZA, Mukhortova AN, Lubentsova YuN. The impact of Covid-19 on the dynamics of changes in the dose load on patients during computed tomography in medical organizations of Moscow. Digital Diagnostics. 2022; 3 (1): 5-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/DD87628>.
20. Vodovатов AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA. Preliminary assessment of structure and collective dose from CT examinations related to COVID-19 diagnostics in the Russian Federation in march-june 2020. Frontiers in Immunology. 2020; 13.
21. Онищенко ГГ, Попова АЮ, Романович ИК, Водоватов АВ, Башкетова НС, Историк ОА, Чипига ЛА, Шацкий ИГ, Репин ЛВ, Библин АМ. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики и дозы медицинского облучения. Радиационная гигиена. 2019; 12 (1): 6-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>.
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovатов AV, Bashketova NS, Istorik OA, Chipiga LA, Shatsky IG, Repin LV, Biblin AM. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 1: Trends, structure of x-ray diagnostics and doses from medical exposure. Radiation Hygiene. 2019; 12 (1): 6-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24>.
22. Онищенко ГГ, Попова АЮ, Романович ИК, Водоватов АВ, Башкетова НС, Историк ОА, Чипига ЛА, Шацкий ИГ, Сарычева СС, Библин АМ, Репин ЛВ. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты. Радиационная гигиена. 2019; 12 (2): 6-24. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24>.
- Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovатов AV, Bashketova NS, Istorik OA, Chipiga LA, Shatsky IG, Sarycheva SS, Biblin AM, Repin LV. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection. Radiation Hygiene. 2019; 12 (2): 6-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24>.
23. Чипига ЛА, Ладанова ЕР, Водоватов АВ, Звонова ИА, Мосунов АА, Наурзбаева ЛТ, Рыжов СА. Тенденции развития ядерной медицины

- в Российской Федерации за 2015–2020 гг. Радиационная гигиена. 2022; 15 (4): 122-33. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133>.
- Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovатов AV, Zvonova IA, Mosunov AA, Naurzbaeva LT, Ryzhov SA. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. Radiation Hygiene. 2022; 15 (4): 122-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133>.
24. Кондрашин СА, Сорокин ВГ, Рыжов СА [и др.]. Мониторинг пиковой дозы в коже в режиме реального времени при рентгенэндоваскулярных вмешательствах. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2021; 11 (2): 153-64. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-1-125-136>.
- Kondrashin SA, Sorokin VG, Ryzhov SA [et al.]. Real-time monitoring of peak dose in the skin during X-ray endovascular interventions. Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics. 2021; 11 (2): 153-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-1-125-136>.
25. Vassileva J, Holmberg O. Radiation protection perspective to recurrent medical imaging: what is known and what more is needed? Br J Radiol. 2021 Oct 1; 94(1126):20210477. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210477>. Epub 2021 Jun 23. PMID: 34161167; PMCID: PMC9328070.
26. Jaervinen H, Vassileva J, Samei E, Wallace A, Vano E, Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. J Med Imaging (Bellingham). 2017 Jul; 4 (3): 031214. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.4.3.031214>. Epub 2017 Oct 4. PMID: 29021989; PMCID: PMC5627781.
27. Brambilla M, Vassileva J, Kuchcinska A, Rehani MM. Multinational data on cumulative radiation exposure of patients from recurrent radiological procedures: call for action. Eur Radiol. 2020 May; 30 (5): 2493-501. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06528-7>. Epub 2019 Dec 2. PMID: 31792583.
28. Vano E. Challenges for managing the cumulative effective dose for patients. Br J Radiol. 2020 Dec 1; 93 (1116): 20200814. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200814>. Epub 2020 Sep 30. PMID: 32822543; PMCID: PMC7716011.
29. Rehani MM, Nacouzi D. Higher patient doses through X-ray imaging procedures. Phys Med. 2020 Nov; 79: 80-6. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.017>. Epub 2020 Nov 11. PMID: 33189060.
30. Водоватов АВ, Чипига ЛА, Братилова АА, Дружинина ПС, Шацкий И.Г., Петрякова АВ, Сарычева СС, Библин АМ, Ахматдинов РР, Капырина ЮВ, Солдатов ИВ, Пузырев ВГ, Рыжов СА. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ “Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований”. Предпосылки к переработке. Радиационная гигиена. 2023; 16 (2): 126-36. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136>.
- Vodovатов AV, Chipiga LA, Bratilova AA, Druzhinina PS, Shatskiy IG, Petryakova AV, Sarycheva SS, Biblin AM, Akhmatdinov RR, Kapryrina YuN, Soldatov IV, Puzyrev VG, Ryzhov SA. Update of the federal governmental statistical surveillance form № 3-DOZ “Data on patient doses from medical X-ray examinations”. Prerequisites for the update. Radiation Hygiene. 2023; 16 (2): 126-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136>.
31. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. [Он-лайн ресурс] – Доступно по адресу: <https://rosstat.gov.ru/> Дата последнего доступа: 03.07.2023.
- Official website of the Federal State Statistics Service. [Online resource] - Available at: <https://rosstat.gov.ru/> Last access date: 03.07.2023.
32. Балонов МИ, Голиков ВЮ, Водоватов АВ, Чипига ЛА, Звонова ИА, Кальницкий СА, Сарычева СС, Шацкий ИГ. Научные основы радиационной защиты в современной медицине, Том 1. Лучевая диагностика. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева. 2019: 320 с.
- Balov MI, Golikov VYu, Vodovатов AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, Sarycheva SS, Shatskiy IG. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine, Volume 1. Radiation diagnostics. Saint-Petersburg. 2019: 320 p. (In Russ.).
33. Дружинина ПС, Романович ИК, Водоватов АВ, Чипига ЛА, Ахматдинов РР, Братилова АА, Рыжов СА. Тенденции развития ком-

пьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг. Радиационная гигиена. 2023; 16 (3): 101-17. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117>.

Druzhinina PS, Romanovich IK, Vodovатов AV, Chipiga LA, Akhmatdinov RR, Bratilova AA,

Ryzhov SA. Trends in the development of computed tomography in the Russian Federation in 2011–2021. Radiation Hygiene. 2023; 16 (3): 101-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117>.