

УДК 616-073.75-07-053+623.454.862+628.518+539.16+614.876  
DOI: 10.56871/MHCO.2023.13.88.009

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНРАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ — СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ПОДХОДЫ

© Юлия Николаевна Капырина<sup>1</sup>, Виктор Геннадьевич Пузырев<sup>1</sup>,  
Александр Валерьевич Водоватов<sup>1, 2</sup>, Михаил Игоревич Комиссаров<sup>1</sup>,  
Иван Юрьевич Алешин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.  
194100, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.  
197101, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8

**Контактная информация:** Виктор Геннадьевич Пузырев — к.м.н., доцент, заведующий кафедрой общей гигиены.  
E-mail: vgpuzyrev@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-0185-3545

**Для цитирования:** Капырина Ю.Н., Пузырев В.Г., Водоватов А.В., Комиссаров М.И., Алешин И.Ю. Оптимизация радиационной защиты детей при проведении рентгенорадиологических исследований — современные отечественные и зарубежные подходы // Медицина и организация здравоохранения. 2023. Т. 8. № 2. С. 86–96.  
DOI: <https://doi.org/10.56871/MHCO.2023.13.88.009>

Поступила: 11.04.2023

Одобрена: 02.06.2023

Принята к печати: 29.06.2023

**РЕЗЮМЕ.** Применение современных методов диагностики, в том числе с использованием источников ионизирующего излучения, является неотъемлемой частью системы оказания медицинской помощи в педиатрической практике. Повышение доступности и распространенности рентгенорадиологических исследований (рентгенологические исследования, компьютерная томография, интервенционные исследования и пр.) ведет к росту доз облучения пациентов. Для обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации при медицинском облучении применяется комплексный подход с использованием основных принципов радиационной безопасности — обоснования и оптимизации. Одним из основополагающих принципов радиационной безопасности является принцип оптимизации, который отражен во всех отечественных нормативно-методических документах. К сожалению, вопросы оптимизации радиационной защиты детей в этих документах освещены недостаточно. Проведенный анализ существующих отечественных и зарубежных нормативно-методических документов показал наличие различий в реализации принципа оптимизации радиационной защиты детей при медицинском облучении. В зарубежной практике широко используется принцип оптимизации, основанный на концепции референтных диагностических уровней и программах обеспечения качества проведения рентгенорадиологических исследований. Отечественная нормативно-правовая база в вопросах оптимизации радиационной защиты гармонизирована с зарубежной (РДУ, программа обеспечения качества, контроль доз и пр.). Однако к ее недостаткам можно отнести неполную проработанность практической методологии и отсутствие информации о специфике радиационной защиты детей. Кроме того, действующие

методические указания, которые определяют программу обеспечения качества, охватывают не все методы рентгенорадиологических исследований и не содержат какую-либо информацию о программах обеспечения качества в случае, если рентгенорадиологические исследования выполняются педиатрическим пациентам. Именно поэтому актуальным становится вопрос о необходимости совершенствования законодательной и нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности детей при медицинском облучении.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** лучевая диагностика; радиационная защита; радиационная безопасность; рентгенорадиологические исследования; медицинское облучение; дети.

## OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION OF CHILDREN DURING X-RAY EXAMINATION — EXISTING NATIONAL AND INTERNATIONAL APPROACHES

© Yuliya N. Kapryrina<sup>1</sup>, Viktor G. Puzyrev<sup>1</sup>, Aleksandr V. Vodovotov<sup>1, 2</sup>, Mikhail I. Komissarov<sup>1</sup>, Ivan Yu. Aleshin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Lithuania 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 194100

<sup>2</sup> Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Mira 8, Saint Petersburg, Russian Federation, 197101

**Contact information:** Viktor G. Puzyrev — MD, Ph.D., Assistant Professor, the Head of the Department of General Hygiene. E-mail: vgpuzyrev@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-0185-3545

**For citation:** Kapryrina YuN, Puzyrev VG, Vodovotov AV, Komissarov MI, Aleshin IYu. Optimization of radiation protection of children during X-ray examination — existing national and international approaches. *Medicine and health care organization* (St. Petersburg). 2023; 8(2):86-96. DOI: <https://doi.org/10.56871/MHCO.2023.13.88.009>

**Received:** 11.04.2023

**Revised:** 02.06.2023

**Accepted:** 29.06.2023

**ABSTRACT.** The use of modern imaging modalities based on sources of ionizing radiation, is an essential part of system of medical care in pediatric practice. Fixed increase in availability and amount of X-ray imaging (radiography, computed tomography, interventional examinations, etc.) leads to corresponding increase in patient doses. To ensure the radiation safety of the population of the Russian Federation from medical sources of ionizing radiation, an integrated approach is applied using the basic principles of radiation safety — justification and optimization. One of the fundamental principles of radiation safety is the principle of optimization, which is reflected in all national legislative documents. Unfortunately, modern approaches to optimization of radiation protection of children are not sufficiently covered in these documents. The analysis of existing national and international regulatory documents has indicated significant differences in the implementation of optimization of radiation protection of children from X-ray examinations. In international practice, the optimization principle is widely used, based on the concept of diagnostic reference levels and quality assurance programs for X-ray examinations. The national legislative documents have been harmonized with the international documents (considering diagnostic reference levels, quality assurance programs, control of patient doses, etc.). However, they are hindered by incomplete development of practical methodology and lack of information about the specifics of radiation protection of children. In addition, current guidelines that define the quality assurance program do not cover all methods of X-ray examinations and do not contain any information about quality assurance programs for pediatric X-ray examinations. Therefore, the question of the need to improve the legal and regulatory framework in the field of radiation safety of children during X-ray examinations remains relevant.

**KEY WORDS:** X-ray diagnostics; radiation protection; radiation safety; X-ray examination; medical exposure; children.

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время основные принципы защиты пациентов от медицинского облучения отражены во всех основополагающих отечественных нормативных документах [13, 16, 21]. К сожалению, информации об особенностях радиационной защиты детей в этих основополагающих документах нет, хотя многие проблемы уникальны для лучевой диагностики детей по сравнению со взрослыми. Именно поэтому учет особенностей детского организма является важным элементом для обеспечения эффективной медицинской помощи детскому населению.

Дети обладают рядом особенностей, которые обуславливают различия в подходах к радиационной защите между взрослыми и педиатрическими пациентами при проведении рентгенорадиологических исследований (РРИ) [10]. Так, например, необходимо учитывать анатомические и физиологические особенности организма ребенка, различия в радиочувствительности отдельных органов, тканей и организма в целом у детей в разные возрастные периоды. Еще одним фактором, который отличает визуализацию у детей от визуализации у взрослых, являются непрерывные изменения в изображении различных систем органов во время нормального детского развития. Кроме этого, дети отличаются довольно широким диапазоном антропометрических характеристик, даже в рамках одной возрастной категории [30].

Для успешного проведения лучевой диагностики в педиатрии важно создать благоприятную и комфортную атмосферу для детей. При необходимости можно воспользоваться средствами иммобилизации, чтобы дети могли пройти РРИ без седативных препаратов, так как маленькие дети, как правило, неспособны оставаться неподвижными и в определенном положении в течение требуемого времени. При проведении РРИ также необходимо учитывать, что с детьми не всегда есть возможность установить вербальный контакт, зачастую в процессе проведения РРИ участвуют родители или законные представители ребенка [30].

Кроме того, в последние годы происходит активное внедрение в медицинскую практику новой аппаратуры и методик, значительно расширяющих возможности лучевой диагностики, но одновременно и увеличивающих дозу облучения у пациентов. При применении новых диагностических методов дети могут получать дозы за исследование значительно более высокие, чем взрослые, что требует специальных

мероприятий планирования и осуществления РРИ у детей [1, 10, 14].

В связи с этим вопрос о радиационной безопасности пациентов, в том числе и детей, становится все более актуальным. Основные принципы радиационной защиты пациентов от медицинского облучения, к которым относятся принцип обоснования и оптимизации, нашли свое отражение во всех основополагающих отечественных нормативных документах (Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010), а также в ряде методических указаний и рекомендаций (МР 2.6.1.0066-12, МУ 2.6.1.2944-11, МУ 2.6.1.1892-04 и т.д.). К сожалению, данные документы практически не содержат информацию об особенностях облучения и мероприятиях радиационной защиты детей. Кроме того, большинство представленных документов нуждается в актуализации [6, 7, 9, 13, 16, 21].

## ЦЕЛЬ

Провести сравнительный анализ существующих отечественных и зарубежных подходов к оптимизации радиационной защиты детей при медицинском облучении и выявить элементы радиационной защиты, которые нуждаются в актуализации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Радиационная безопасность пациентов любого возраста должна быть обеспечена при всех видах медицинского облучения при условии достижения максимальной пользы от рентгенорадиологических процедур и минимизации негативных радиационно-индуцированных эффектов для организма [3, 4, 13, 16, 30, 31]. Основной инструмент для реализации данной цели — использование основополагающих принципов радиационной безопасности, ключевым из которых является принцип оптимизации [13, 16, 21, 30, 31].

### *Принцип оптимизации*

Целью оптимизации проведения РРИ служит получение качественной диагностической информации при минимально достижимой лучевой нагрузке с учетом социальных и экономических факторов [3, 19, 20, 36]. Оптимизация проведения РРИ у детей имеет особое значение, поскольку риск неблагоприятных последствий радиационного воздействия у детей выше, чем у взрослых, а также дети имеют большую ожи-

даемую продолжительность жизни, в течение которой эти эффекты могут проявиться [10, 43].

Оптимизация радиационной защиты включает в себя совершенствование рентгенорадиологического оборудования, соответствие технических параметров оборудования, а также контроль качества проводимой лучевой диагностики [13, 16, 19, 20].

В соответствии с ОСПОРБ 99/2010 [16], оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике должна быть реализована следующими средствами:

- использованием надлежащего оборудования и методик, при которых пациент получает наименьшую дозу, необходимую для получения изображения или другой диагностической информации надлежащего качества;
- использованием референтных диагностических уровней (РДУ) дозы для отдельных видов исследований;
- измерением или вычислением дозы, получаемой пациентами;
- обеспечением качества исследований.

Первым шагом процесса оптимизации является выбор соответствующего оборудования для лучевой диагностики. Использование надлежащего оборудования и связанного с ним программного обеспечения — важная составляющая успешного проведения РРИ. Целесообразно использовать оборудование (рентгеновские аппараты, компьютерные томографы и пр.), предназначенное специально для детей, особенно в учреждениях с большой нагрузкой на педиатрических пациентов. Рентгенологическое оборудование, используемое для РРИ у детей, должно иметь самый широкий диапазон настроек для оптимизации защиты детей [3, 19, 20].

Ввод рентгенодиагностического аппарата в эксплуатацию должен включать в себя проспективную оценку доз облучения пациентов и параметров качества изображения. В дополнение к этому пункт 3.171 публикации GSR Part 3 [3] требует, чтобы и после выполнения любых значительных профилактических или ремонтных работ периодически проводились измерения физических параметров медицинского оборудования (контроль эксплуатационных параметров [16]). В международной практике разработано множество документов международных и национальных организаций, а также национальных и региональных профессиональных организаций, в которых содержатся подробные рекомендации в отношении испытаний по контролю качества, которые следует прово-

дить с учетом рекомендованной периодичности [22–25, 29, 33–35].

Поскольку большинство моделей оборудования для лучевой диагностики и протоколов медицинской визуализации предназначены для взрослых пациентов, для использования их в педиатрической практике могут потребоваться изменения параметров проведения РРИ. Одним из ключевых практических методов оптимизации является регулирование технических параметров проведения РРИ для достижения наименьшей дозы облучения пациента, позволяющей получить качественное диагностическое изображение. Для этого рекомендуется учитывать антропометрические данные пациента [3, 30]. Врач-рентгенолог должен знать особенности всех параметров и протоколов и понимать, какой из них выбрать в каждом конкретном случае. Параметры протоколов медицинской визуализации подлежат периодическому пересмотру с целью обеспечения надлежащего диагностического качества изображений, эффективной работы с низким уровнем облучения и минимизации облучения пациентов [30].

Важная составляющая оптимизации радиационной защиты детей — внедрение системы референтных диагностических уровней (РДУ), рекомендованных Международной комиссией по радиологической защите в качестве меры по снижению дозы облучения у пациентов. РДУ определяются значением выбранной дозовой величины для стандартных РРИ, выполняемых на стандартном оборудовании, для стандартных пациентов или фантомов и устанавливаются как 75-й перцентиль распределения дозовых величин, связанных с выбранным РРИ [19, 20, 31, 38, 39, 44, 45].

Все проводимые детям РРИ, ассоциированные как с высокими дозами, так и низкими, должны иметь РДУ. Для определения педиатрических значений РДУ в дополнение к общепринятой градации по возрастам целесообразно устанавливать РДУ с учетом антропометрических характеристик, т.к. в рамках даже одного возрастного периода антропометрические данные детей могут сильно варьировать [30].

Ключевой целью использования РДУ является поддержание доз пациентов на таких низких уровнях, которые возможны с учетом получения высокого качества изображения и необходимой диагностической информации [19, 20, 31, 38]. РДУ служит средством для проверки, не является ли уровень облучения пациента большим, чем достаточно для получения достоверной диагностической информации. Всякий раз, когда РДУ постоянно превышаются,

соответствующие исследования для выявления причин и корректирующие действия по улучшению клинической практики должны приниматься незамедлительно. Кроме того, РДУ следует регулярно пересматривать и обновлять, в частности при изменении оборудования или метода обследования [31].

Важно отметить, что превышение РДУ при исследовании отдельных пациентов — нарушение требований радиационной защиты. РДУ не являются нормативом, а используются как референтное значение дозы в целях внутреннего контроля качества проведения процедур [40–42]. Установленные РДУ позволяют определить медицинские организации или отделения лучевой диагностики, в которых следует проводить оптимизацию радиационной защиты пациентов в первую очередь [37, 38].

В зарубежной практике установление РДУ и использование принципа оптимизации — неотъемлемый элемент защиты пациента на международном [3, 4], общеевропейском [26, 32] и национальном [28, 46, 47] уровнях. Регулярно проводятся международные [26, 47] и национальные программы сбора данных для определения доз пациентов и пересмотра значений РДУ [27, 28, 46].

В Российской Федерации принцип оптимизации закреплён на всех уровнях законодательства по радиационной защите в медицине. В Федеральном законе № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» [21] принцип оптимизации сформулирован как поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учётом экономических и социальных факторов индивидуальных доз и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего облучения.

В ОСПОРБ-99/2010 [16] принцип оптимизации защиты пациентов сформулирован в п. 4.7 как достижение полезного медицинского эффекта РРИ, диагностической информации высокого качества или лечебного результата при наименьших возможных уровнях облучения. В п. 4.8 содержатся основные способы обеспечения процесса оптимизации. В НРБ-99/2009 [13] принцип оптимизации сформулирован аналогично ОСПОРБ-99/2010, однако никакой дополнительной информации не представлено.

Одним из наиболее эффективных способов оптимизации является использование РДУ. Подробно концепция РДУ раскрыта в МР 2.6.1.066-12 «Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения» [6]. Однако на

практике принцип оптимизации реализован формально. Одна из причин — отсутствие в штате рентгенологических отделений медицинских физиков. Существующая система радиационной безопасности ориентирована главным образом на медицинский персонал. Совершенствование и усложнение современных методов лучевой диагностики не позволяет медицинскому персоналу выполнять задачи по дозиметрии пациентов, анализу уровней их облучения, установлению низкодозовых протоколов должным образом [2].

РДУ рекомендуется периодически пересматривать, например каждые 3–5 лет. Специфика установления и использования РДУ в педиатрической практике в МР 2.6.1.066-12 не описана.

Следует отметить, что МУ 2.6.1.3387 «Радиационная защита детей в лучевой диагностике» и методические рекомендации «Гигиенические требования по ограничению доз облучения детей при рентгенологических исследованиях» [5, 10] полностью посвящены радиационной защите детей. Но, несмотря на то что основной акцент сделан на детях, мероприятия имеют скорее теоретическую направленность, чем практическую. Однако указаны особенности рентгенодиагностического облучения детей и ряд методов ограничения и снижения радиационного воздействия. Так, например, рекомендуется обращать особое внимание на обоснование процедур и исключать исследования, в которых нет необходимости, использовать альтернативные неионизирующие методы визуализации, применять современное рентгеновское оборудование и индивидуальные средства защиты пациента. Протоколы проведения РРИ детей должны учитывать возрастные особенности пациентов, их антропометрические характеристики, специфику заболеваний, особенности оборудования и требования к персоналу. В методических рекомендациях «Гигиенические требования по ограничению доз облучения детей при рентгенологических исследованиях» уделяется внимание и частным методам рентгенологического исследования детей — рентгенографии и рентгеноскопии, как наиболее часто используемым [5].

### *Программа обеспечения качества*

Неотъемлемой частью оптимизации являются организационные мероприятия, направленные на совершенствование радиационной защиты пациентов, в том числе и детей. К числу таких мероприятий можно отнести комплексную программу обеспечения качества, включа-

ющую аспекты контроля и непрерывного улучшения качества проведения лучевой диагностики (пункт 3.170 и 3.182 публикации GSR Part 3) [3].

Для обеспечения радиационной безопасности населения, пациентов и персонала необходимо проведение мероприятий по контролю качества, которые включают в себя следующие разделы: контроль диагностического и вспомогательного оборудования, обеспечение радиационной безопасности пациентов, подготовку и переподготовку персонала, вовлеченного в процесс проведения РРИ [11, 12].

Важным звеном в этом вопросе является медицинское оборудование. Для сотрудников медицинского учреждения, использующего источники ионизирующего излучения в своей практике, следует проводить специальную подготовку по использованию оборудования или программного обеспечения. Необходимо обеспечить полное понимание характеристик оборудования, терминологии или программного обеспечения, включая связанные с ними последствия, для радиационной защиты пациентов и персонала [3].

Контроль качества оборудования включает в себя проведение технического обслуживания, выявление изношенных и поврежденных частей (деталей), проверку действия всех защитных устройств и блокировок, наличие и ведение отчетных форм, контроль технического состояния оборудования. Кроме того, необходимо проводить процедуры ежедневного контроля, испытания на постоянство параметров и калибровку диагностического и вспомогательного оборудования, а также контроль микроклимата помещений на соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям и условиям эксплуатации, рекомендуемым производителем оборудования [3].

В медицинских организациях контроль доз облучения пациентов обязателен. Пункт 3.168 публикации GSR Part 3 требует, чтобы дозиметрия пациентов проводилась при осуществлении РРИ [3]. В зарубежной практике рентгеновские аппараты оснащены клиническими дозиметрами и объединены в единую систему PACS (система архивирования изображений и связи) или RIS (радиологическая информационная система), что позволяет вести сбор и учет данных в автоматическом режиме. Знания типичных доз составляют базис для применения методов снижения доз в рамках оптимизации. Возможности хранения изображений позволяют методически их оценивать и документировать информацию без создания дополнительных изображений, тем самым снижая дозу облучения пациента.

Еще одним ключевым моментом является подготовка медицинского персонала в области радиационной защиты. Все процедуры, особенно высокодозовые, должны выполняться опытным педиатрическим персоналом в связи с потенциальной высокой дозой облучения пациентов. К числу механизмов для совершенствования компетенций медицинских работников в области радиационной защиты относятся традиционное обучение и профессиональная подготовка, например в медицинском учебном заведении, или специальная подготовка для работы в данной области, учеба с использованием интернет-ресурсов или на рабочем месте [3].

Определенную роль в обеспечении радиационной защиты и безопасности при медицинском использовании ионизирующего излучения играют профессиональные организации и сообщества. Их функции могут включать в себя установление норм в области профессиональной подготовки, квалификации и компетенции в данной области специализации, а также публикацию руководящих материалов по осуществлению практической деятельности. Профессиональным организациям следует играть ведущую роль в разработке принципов направления пациентов на исследование при обосновании медицинского облучения для каждого пациента. Кроме того, профессиональные организации и сообщества способствуют распространению достоверной информации касательно радиационной защиты и безопасности как для врачей, так и для пациентов и их родителей.

Основные действующие отечественные нормативно-методические документы по обеспечению радиационной защиты пациентов и персонала в медицине не рассматривают вопросы обеспечения качества в лучевой диагностике. В данных документах затрагиваются лишь отдельные аспекты контроля качества в рамках программы контроля технических параметров диагностического оборудования [13, 15, 16].

Действующие методические указания, которые определяют программу обеспечения качества, включают в себя требования к контролю диагностического и вспомогательного оборудования, обеспечению радиационной безопасности пациентов, а также требования к подготовке и переподготовке персонала, вовлеченного в процесс проведения диагностических исследований (МУК 2.6.7.3651-20, МУК 2.6.7.3652-20) [11, 12]. Но, к сожалению, они охватывают не все РРИ, а только методы компьютерной томографии (КТ), позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) и ПЭТ/КТ. Кроме этого, данные

документы не содержат какую-либо информацию о программах обеспечения качества в случае, если РРИ выполняются педиатрическим пациентам.

Система контроля и учета доз пациентов является неотъемлемой частью оптимизации радиационной защиты. В РФ данная система реализуется во всех медицинских организациях в рамках системы ЕСКИД (единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан) и формы статистической отчетности № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований» [17, 18]. В рамках данной системы можно получить сведения о коллективных и средних эффективных дозах для наиболее распространенных РРИ (рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография, интервенционные исследования и др.) на уровне медицинской организации. К сожалению, достоверность этих данных низка, поскольку дозы индивидуальных пациентов не учитываются и усредняются по всей медицинской организации.

Для оценки доз облучения индивидуальных пациентов используют расчетные дозовые величины (эффективная доза), измеренные дозовые величины централизованно не собираются. Расчет эффективных доз осуществляется с использованием коэффициентов перехода (от измеренной дозовой величины к эффективной дозе) [8, 9]. Данные коэффициенты перехода разработаны для ограниченного числа РРИ и возрастных категорий, и только при условии соответствия параметрам проведения исследования, для которых были рассчитаны коэффициенты перехода, указанные в МУ. При отсутствии соответствующего набора параметров проведения исследования или при внедрении новых методов исследований расчет эффективной дозы затруднен. И поэтому, как правило, используют типовые эффективные дозы, без учета специфики индивидуальных пациентов и особенностей проведения исследования в каждом конкретном случае. Как следствие, целесообразно совершенствовать методы оценки доз пациентов и радиационных рисков при проведении РРИ.

Контроль диагностического и вспомогательного оборудования, а также качества эксплуатационных параметров осуществляется во всех медицинских организациях. Следует отметить, что проходит он, как правило, только в рамках технического обслуживания. Для реализации данного процесса в повседневной практике необходимо достаточное количество

медицинских физиков в штате медицинских организаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, несмотря на то что отечественная нормативно-правовая база в вопросах оптимизации радиационной защиты гармонизирована с зарубежной (РДУ, программа обеспечения качества, контроль доз и пр.), к ее недостаткам можно отнести неполную проработанность практической методологии и отсутствие информации о специфике радиационной защиты детей. К сожалению, сведений о средствах и особенностях радиационной защиты детей в основополагающих документах нет, хотя учет особенностей детского организма является необходимым звеном для обеспечения эффективной медицинской и профилактической помощи детскому населению.

Разработка мер по контролю и оценке эффективности проведения РРИ в РФ возложена на Федеральную службу по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Но с учетом того, что это находится вне его компетенции (например, отслеживать правильность и точность измерений эксплуатационных параметров), реализацию процесса оптимизации необходимо вести совместно с Министерством здравоохранения Российской Федерации, что на текущий момент планируется осуществить в рамках проекта нового Федерального закона о радиационной безопасности населения. Кроме того, критерии качества и регулярные аудиты должны быть внедрены в практику медицинских учреждений как элемент радиационной защиты.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception

of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В. и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Т. 1. Лучевая диагностика. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева; 2019.
2. Водоватов А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований. Радиационная гигиена. 2017; 10(1): 47–55. Доступен по: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55> (дата обращения: 25.03.2023).
3. Международное Агентство по атомной энергии. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Вена. IAEA. 2015; GSR Part 3: 518.
4. Международное Агентство по Атомной Энергии. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Вена. IAEA. 2002; RS-G-1.5: 86.
5. Методические рекомендации «Гигиенические требования по ограничению доз облучения детей при рентгенологических исследованиях»; 2007. Доступен по: <https://docs.cntd.ru/document/1200087989> (дата обращения: 25.03.2023).
6. МР 2.6.1.0066-12 «Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения». 2012. Доступен по: <https://docs.cntd.ru/document/1200102854> (дата обращения: 25.03.2023).
7. МУ 2.6.1.1892-04 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004.
8. МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2019.
9. МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2011.
10. МУ 2.6.1.3387-16 «Радиационная защита детей в лучевой диагностике: методические указания». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2016.
11. МУК 2.6.7.3651-20 «Методы контроля в ПЭТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2020.
12. МУК 2.6.7.3652-20 «Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2020.
13. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2009.
14. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики и дозы медицинского облучения. Радиационная гигиена. 2019; 12 (1): 6–24. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24.
15. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты. Радиационная гигиена. 2019; 12 (2): 6-24. Доступен по: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24> (дата обращения: 25.03.2023).
16. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2010.
17. Приказ Минздрава РФ от 31 июля 2000 г. № 298 «Об утверждении Положения о единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан». Доступен по: <https://docs.cntd.ru/document/901766853> (дата обращения: 25.03.2023).
18. Приказ Федеральной службы государственной статистики от 30 ноября 2022 г. № 880 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием субъекта Российской Федерации». Доступен по: <https://docs.cntd.ru/document/1300139297> (дата обращения: 25.03.2023).
19. Публикация 103 Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) от 2007 г.: пер. с англ., под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. М.: Алана; 2009.



20. Публикация 105 Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) под редакцией Д. Валентина, редактор русского перевода М.И. Балонов. СПб.: ФГУН НИИРГ; 2011.
21. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». Доступен по: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8797/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/) (дата обращения: 25.03.2023).
22. American association of physicists in medicine. Functionality and Operation of Fluoroscopic Automatic Brightness Control/Automatic Dose Rate Control Logic in Modern Cardiovascular and Interventional Angiography Systems. AAPM Report No. 125; 2012.
23. American college of radiology, American association of physicists in medicine. Technical Standard for Medical Physics Performance Monitoring of PET/CT Imaging Equipment, Resolution 45. ACR, Reston, VA; 2013.
24. American college of radiology, American association of physicists in medicine. Technical Standard for Medical Physics Performance Monitoring of SPECT-CT Equipment, Resolution 35. ACR, Reston, VA; 2014.
25. European Commission. Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Radiation Protection No. 162. Publications Office of the European Union, Luxembourg; 2012.
26. European Commission. Radiation Protection 180 pt. 2. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. European Commission; 2014.
27. Hart D., Hillier M.C., Shrimpton P.C. Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK: 2010 review. Health Protection Agency the Centre for Radiation. HPA-CRCE-034. 2012; VI: 81.
28. Hart D. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. Br. J. Radiol. 2009; 82 (973): 1–12.
29. Heggie J.C.P., Barnes P., Cartwright L. et al. Recommendations for a digital mammography quality assurance program V4.0. Australasian College of Physical Scientists and Engineers in Medicine. 2017; 40(3): 491–543.
30. ICRP Publication 121. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. Ann. ICRP. 42(2); 2013.
31. ICRP Publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging. Ann. ICRP 46(1); 2017.
32. ICRP. Diagnostic reference levels in medical imaging: review and additional advice. Ann. ICRP 31(4); 2001.
33. Institute of physics and engineering in medicine. Quality Assurance of PET and PET/CT Systems. IPEM Report 108; 2013.
34. International Atomic Energy Agency. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: IAEA; 2014.
35. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance Programme for Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications. Vienna: IAEA; 2012.
36. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide №SSG-46. Vienna: IAEA; 2018.
37. Martin C.J. Management of patient dose in radiology in the UK. Radiat. Prot. Dosim. 2011; 147(3): 355–72.
38. Martin C.J. Practical radiation protection in healthcare. Oxford: Oxford University Press; 2015.
39. Meyer S. Diagnostic reference levels in low- and middle-income countries: Early “ALARAm” bells? Acta radiol. 2017; 58(4): 442–8.
40. Miller D.L., Vano E., Rehani M.M. Reducing radiation, revising reference levels. J. Am. Coll. Radiol. 2015; 12(3): 214–6.
41. Rehani M.M. Dose surveys and DRLs: critical look and way forward. Radiat. Prot. Dosim. 2015; 165(1–4): 67–9.
42. Rehani M.M. Limitations of diagnostic reference level (DRL) and introduction of acceptable quality dose (AQD). Br. J. Radiol. 2015; 88(1045): 40–4.
43. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation (UNSCEAR) 2013 report: report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations; 2013.
44. United States Environmental Protection Agency. Radiation Protection Guidance for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures. Washington; 2014.
45. Vassileva J., Rehani M. Diagnostic reference levels. Am. J. Roentgenol. 2015; 204(1): 1–3.
46. Wall B.F. Implementation of DRLs in the UK. Radiat. Prot. Dosim. 2005; 114(1–3): 183–7.
47. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2012. Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2014.

## REFERENCES

1. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Vodovatov A.V. i dr. Nauchnye osnovy radiatsionnoy zashchity v sovremennoy meditsine. T. 1. Luchevaya diagnostika. [Scientific foundations of radiation protection in modern medicine, Volume 1. Radiation diagnostics]. Sankt-Peterburg: NIIRG imeni prof. P.V. Ramzaeva; 2019. (in Russian).
2. Vodovatov A.V. Prakticheskaya realizatsiya kontseptsii referentnykh diagnosticheskikh urovney dlya optimizatsii zashchity patsientov pri provedenii standartnykh rentgenograficheskikh issledovaniy. [Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations.]. Radiatsionnaya gigiena. 2017; 10 (1): 47–55. Available at: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
3. Mezhdunarodnoe Agentstvo po Atomnoj Jenerгии. Radiatsionnaya zashchita i bezopasnost' istochnikov izluchenija: Mezhdunarodnye osnovnye normy bezopasnosti. [Radiation

- tion protection and safety of radiation sources: International basic safety standards]. Seriya norm MAGATJe po bezopasnosti. Vena. IAEA. 2015; GSR Part 3: 518. (in Russian).
4. Mezhdunarodnoe Agentstvo po Atomnoy Energii. Radiologicheskaya zashchita pri meditsinskom obluchenii ioniziruyushchim izlucheniem. [Radiological protection during medical exposure to ionizing radiation]. Seriya norm MAGATE po bezopasnosti. Vena. IAEA. 2002; RS-G-1.5: 86. (in Russian).
  5. Metodicheskie rekomendatsii «Gigienicheskie trebovaniya po ogranicheniyu doz oblucheniya detey pri rentgenologicheskikh issledovaniyakh». 2007. [Hygienic requirements for limiting radiation doses to children during X-ray examinations. 2007]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200087989> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
  6. MR 2.6.1.0066-12 «Primenenie referentnykh diagnosticheskikh urovnej dlja optimizatsii radiacionnoy zashchity pacienta v rentgenologicheskikh issledovaniyakh obshhego naznachenija». 2012. [The use of reference diagnostic levels to optimize the radiation protection of the patient in general-purpose radiological studies. 2012]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200102854> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
  7. MU 2.6.1.1892-04 «Gigienicheskie trebovaniya po obespecheniyu radiacionnoy bezopasnosti pri provedenii radionuklidnoy diagnostiki s pomoshh'ju radiofarmpreparatov». [Hygienic requirements for radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals]. Moskva: Federal'nyy centr gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii; 2004. (in Russian).
  8. MU 2.6.1.3584-19 «Izmeneniya v MU 2.6.1.2944-11 «Kontrol' effektivnykh doz oblucheniya patsientov pri provedenii meditsinskikh rentgenologicheskikh issledovaniy». [Control of effective radiation doses of patients during medical radiological examinations]. Moskva: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka; 2019. (in Russian).
  9. MU 2.6.1.2944-11 «Kontrol' jeffektivnykh doz oblucheniya pacientov pri provedenii medicinskih rentgenologicheskikh issledovaniy». [Monitoring of effective radiation doses of patients during medical radiological examinations]. Moskva: Federal'nyy centr gigiyeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2011. (in Russian).
  10. MU 2.6.1.3387-16 «Radiacionnaya zashchita detey v luchevoj diagnostike: metodicheskie ukazaniya». [Radiation protection of children in radiation diagnostics: guidelines]. Moskva: Federal'nyy centr gigiyeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2016. (in Russian).
  11. MUK 2.6.7.3651-20 «Metody kontrolya v PET-diagnostike dlya optimizatsii radiatsionnoy zashchity». [Control methods in PET diagnostics to optimize radiation protection]. Moskva: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka; 2020. (in Russian).
  12. MUK 2.6.7.3652-20 «Metody kontrolya v KT-diagnostike dlya optimizatsii radiatsionnoy zashchity». [Control methods in CT diagnostics to optimize radiation protection]. Moskva: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka; 2020. (in Russian).
  13. Normy radiacionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009): sanitarnye pravila i normativy (SanPiN 2.6.1.2523-09). [Radiation safety standards]. Moskva: Federal'nyy centr gigiyeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2009. (in Russian).
  14. Onishhenko G.G., Popova A.Ju., Romanovich I.K. i dr. Sovremennyye principy obespecheniya radiacionnoy bezopasnosti pri ispol'zovanii istochnikov ioniziruyushhego izlucheniya v medicine. Chast' 1. Tendentsii razvitiya, struktura luchevoj diagnostiki i dozy medicinskogo oblucheniya. [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]. Radiacionnaya gigiena. 2019; 12 (1): 6–24. DOI: 10.21514/1998-426H-2019-12-1-6-24. (in Russian).
  15. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K. i dr. Sovremennyye printsipy obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti pri ispol'zovanii istochnikov ioniziruyushhego izlucheniya v meditsine. Chast' 2. Radiatsionnyye riski i sovershenstvovanie sistemy radiatsionnoy zashchity. [Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection]. Radiatsionnaya gigiena. 2019; 12 (2): 6–24. Available at: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
  16. Osnovnyye sanitarnyye pravila obespecheniya radiacionnoy bezopasnosti (OSPORB-99/2010): SP 2.6.1.2612-10. [Basic sanitary rules for radiation safety]. Moskva: Federal'nyy centr gigiyeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2010. (in Russian).
  17. Prikaz Minzdrava RF ot 31 iyulya 2000 g. № 298 «Ob utverzhdenii Polozheniya o edinoy gosudarstvennoy sisteme kontrolya i ucheta individual'nykh doz oblucheniya grazhdan». [On approval of the Regulations on the unified State system of control and accounting of individual doses of radiation of citizens]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/901766853> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
  18. Prikaz Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki ot 30 noyabrya 2022 g. N 880 «Ob utverzhdenii formy federal'nogo statisticheskogo nablyudeniya s ukazaniyami po ee zapolneniyu dlya organizatsii Federal'noy sluzhboy po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka federal'nogo statisticheskogo nablyudeniya za sanitarnym sostoyaniem sub»ekta Rossiyskoy Federatsii». [About the approval of the federal statistical observation form with instructions on its com-

- pletion for the organization by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare of the federal statistical observation of the sanitary condition of the subject of the Russian Federation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1300139297> (accessed 25.03.2023). (in Russian).
19. Publikacija 103 Mezhdunarodnoj Komissii po Radiacionnoj Zashhite (MKRZ) ot 2007 g.: per. s angl., pod obshh. red. M.F. Kiseleva, N.K. Shandaly. [Publication 103 of the International Commission on Radiation Protection]. Moskva: Alana Publ.; 2009. (in Russian).
  20. Publikacija 105 Mezhdunarodnoj Komissii po Radiacionnoj Zashhite (MKRZ) pod redakciej D. Valentina, redaktor russkogo perevoda M.I. Balonov. [Publication 105 of the International Commission on Radiation Protection]. Sankt-Peterburg: FGUN NIIRG; 2011. (in Russian).
  21. Federal'nyj zakon ot 09.01.1996 N 3-FZ «O radiacionnoj bezopasnosti naselenija». [About radiation safety of the population]. Available at: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8797/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/) (accessed 25.03.2023). (in Russian).
  22. American association of physicists in medicine. Functionality and Operation of Fluoroscopic Automatic Brightness Control/Automatic Dose Rate Control Logic in Modern Cardiovascular and Interventional Angiography Systems. AAPM Report No. 125; 2012.
  23. American college of radiology, American association of physicists in medicine. Technical Standard for Medical Physics Performance Monitoring of PET/CT Imaging Equipment, Resolution 45. ACR, Reston, VA; 2013.
  24. American college of radiology, American association of physicists in medicine. Technical Standard for Medical Physics Performance Monitoring of SPECT-CT Equipment, Resolution 35. ACR, Reston, VA; 2014.
  25. European Commission. Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Radiation Protection No. 162. Publications Office of the European Union, Luxembourg; 2012.
  26. European Commission. Radiation Protection 180 pt. 2. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. European Commission; 2014.
  27. Hart D., Hillier M.C., Shrimpton P.C. Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK: 2010 review. Health Protection Agency the Centre for Radiation. HPA-CRCE-034. 2012; VI: 81.
  28. Hart D. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. Br. J. Radiol. 2009; 82 (973): 1–12.
  29. Heggie J.C.P., Barnes P., Cartwright L. et al. Recommendations for a digital mammography quality assurance program V4.0. Australasian College of Physical Scientists and Engineers in Medicine. 2017; 40(3): 491–543.
  30. ICRP Publication 121. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. Ann. ICRP. 42(2); 2013.
  31. ICRP Publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging. Ann. ICRP 46(1); 2017.
  32. ICRP. Diagnostic reference levels in medical imaging: review and additional advice. Ann. ICRP 31(4); 2001.
  33. Institute of physics and engineering in medicine. Quality Assurance of PET and PET/CT Systems. IPEM Report 108; 2013.
  34. International Atomic Energy Agency. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: IAEA; 2014.
  35. International Atomic Energy Agency. Quality Assurance Programme for Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications. Vienna: IAEA; 2012.
  36. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide №SSG-46. Vienna: IAEA; 2018.
  37. Martin C.J. Management of patient dose in radiology in the UK. Radiat. Prot. Dosim. 2011; 147(3): 355–72.
  38. Martin C.J. Practical radiation protection in healthcare. Oxford: Oxford University Press; 2015.
  39. Meyer S. Diagnostic reference levels in low- and middle-income countries: Early “ALARAm” bells? Acta radiol. 2017; 58(4): 442–8.
  40. Miller D.L., Vano E., Rehani M.M. Reducing radiation, revising reference levels. J. Am. Coll. Radiol. 2015; 12(3): 214–6.
  41. Rehani M.M. Dose surveys and DRLs: critical look and way forward. Radiat. Prot. Dosim. 2015; 165(1–4): 67–9.
  42. Rehani M.M. Limitations of diagnostic reference level (DRL) and introduction of acceptable quality dose (AQD). Br. J. Radiol. 2015; 88(1045): 40–4.
  43. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR. Sources, effects and risks of ionizing radiation (UNSCEAR) 2013 report: report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations; 2013.
  44. United States Environmental Protection Agency. Radiation Protection Guidance for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures. Washington; 2014.
  45. Vassileva J., Rehani M. Diagnostic reference levels. Am. J. Roentgenol. 2015; 204(1): 1–3.
  46. Wall B.F. Implementation of DRLs in the UK. Radiat. Prot. Dosim. 2005; 114(1–3): 183–7.
  47. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2012. Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2014.