

# АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ, ОЦЕНКИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА

*Ш.Г. Шосафарова, Е.Ю. Малышева*

Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности  
Национальной академии наук Таджикистана. 734025,  
Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки 33,  
E-mail: [malishevaelena@mail.ru](mailto:malishevaelena@mail.ru), [sh.shosafarova@cbrn.tj](mailto:sh.shosafarova@cbrn.tj)

## **Аннотация**

В статье приводится анализ имеющихся современных методов и средств, направленных на определение доз радиоактивного излучения, в частности, медицинского персонала в связи с тем, что именно медицинские работники испытывают максимальные дозовые нагрузки от воздействия ионизирующего излучения. Рассмотрены основные методы регистрации облучения людей и, в частности, медицинского персонала, а также принципы радиационной защиты и снижения дозовых нагрузок – это принцип обоснования, принцип оптимизации и принцип нормирования.

**Ключевые слова:** облучение, медицинский персонал, дозовые нагрузки, методы регистрации облучения, ТЛД-дозиметрия, дозиметрический контроль.

Ионизирующие излучения невидимы, не имеют цвета, запаха или других признаков, на основании которых человек мог бы определить их наличие, поэтому их обнаружение и измерение проводят косвенным путём на основании какого-либо их свойства.

В современном мире медицинское облучение – это глобальный фактор воздействия источников ионизирующего излучения (ИИИ) на человека. Медицинским облучением является облучение, которому пациенты подвергаются в результате проведения рентгенорадиологических исследований, а также другие категории людей, которые соприкасаются с ним в процессе профессиональной деятельности.

Источники излучения широко используются в диагностике. Лучевая терапия не принимается во внимание при оценке общего медицинского облучения населения, так как в данном случае используются высокие точечные дозы, которые сопровождаются детерминированными эффектами.

Отличительные характеристики медицинского облучения - это высокие мощности доз (превосходящие природное облучение на несколько порядков); влияние, в основном, на ослабленные или больные организмы и главным образом на одни радиочувствительные органы; периодическое облучение групп людей повышенного риска.

Источники ионизирующего излучения медицинского назначения максимально используются в рентгенодиагностике и оказывают на население высокое радиационное воздействие. По средним индивидуальным дозам облучения населения (например, в 2008 г. - 0,59 мЗв/чел.) медицинское облучение стоит на втором месте после природного облучения (3,43 мЗв/чел.), значительно опережая другие источники ионизирующего излучения (от 0,002 до 0,006 мЗв/чел.).

Специфичностью радиационной защиты от медицинского облучения являются иные подходы, чем те, которые применяются в других ситуациях планируемого облучения людей, так как медицинское облучение является намеренным и направлено на получение

непосредственной пользы для пациентов. В лучевой терапии биологические эффекты высоких доз радиации также используются, чтобы принести пользу пациентам при лечении рака и других болезней.

В настоящее время медицинское облучение регулируется на качественно новом уровне, к нему применяются такие известные принципы радиационной защиты, как обоснование, оптимизация и нормирование.

*Принцип обоснования* - это означает, что наиболее точные диагнозы или улучшение здоровья больных за счёт использования источников излучения должны превышать с медицинской точки зрения риски допустимых стохастических эффектов, вызванных радиацией, учитывать вред, который наносится медицинскому персоналу или другим людям. Ответственность за обоснование применения конкретных процедур несут медицинские специалисты, это относится к их медицинскому профессионализму.

В *принцип оптимизации* входят такие основные аспекты, как:

- обеспечить качество рентгенорадиологических исследований;
- использовать контрольные диагностические уровни при проведении медицинских лечебных и диагностических процедур;
- внедрять в медицинскую практику программы контроля качества деятельности медицинских работников и медицинского оборудования;
- найти приемлемые компромиссы между высокими качествами изображения и низкими дозами при облучении больных.

*Принцип нормирования* применяется при медицинском облучении ограниченно: для пациентов дозы облучения, кроме отдельных исключений, не нормируются во избежание нанесения вреда пациентам.

Основными методами регистрации облучения людей и, в частности, медицинского персонала, являются:

1. Фотографический метод, самый первый метод, который позволил А. Беккерелю открыть явление радиоактивности. Основан на воздействии радиоактивного излучения на фоточувствительные материалы (по принципу воздействия световых квантов на фотопластину).

2. Ионизационный метод, основанный на измерении степени ионизации газов, либо по образованию электронно-дырочных пар в твёрдых телах. Для измерения используются электроскопы, ионизационные камеры (камера Вильсона и др.), газоразрядные счётчики (счётчики Гейгера-Мюллера и т.д.), полупроводниковые счётчики на основе кремния, германия и т.д. Это один из самых широко распространённых методов измерения радиоактивного излучения. С его использованием создано большое количество разных типов аппаратуры.

3. Люминесцентный метод обусловлен возникновением свечения под влиянием какого-либо воздействия (фотолюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, триболюминесценция, термолюминесценция и т.д.). Возникновение и интенсивность свечения обусловлены накоплением энергии при взаимодействии излучения с веществом. Для регистрации радиоактивного излучения используются сцинтилляционные детекторы различных типов, в которых в результате попадания альфа-, бета-частиц и гамма-квантов возникают световые вспышки разной интенсивности, продолжительности и т.д., которые регистрируются фотодетектором (фотодиод, фотоумножитель и т.д.). Это также один из самых широко применяемых методов регистрации радиоактивного излучения.

4. Оптический метод реализуется на эффекте изменения оптических свойств материалов под воздействием радиоактивного излучения. Для этих целей используются различные типы стёкол (фосфатные, борные, активированные Ag либо Bi и т.д.), полимерные материалы (цветной целлофан, ацетил целлюлоза и т.д.). На этом методе создана аппаратура для измерения радиационных полей высокой интенсивности. Интенсивность почернения прямо пропорциональна дозе радиоактивного излучения. На этом принципе работают многие типы индивидуальных дозиметров. Этот метод широко используется в лабораторных исследованиях радиоактивных веществ для их обнаружения и пространственной локализации (различные виды макро - и микрорадиографии).

5. Калориметрический метод измерения радиоактивности основан на измерении тепла, выделяемого при радиоактивном распаде или при взаимодействии излучения с веществом. Метод применяется сравнительно редко, но на его основе созданы приборы для градуировки дозиметров, измерения мощных потоков гамма- и нейтронного излучения в реакторной дозиметрии, где они имеют преимущество по сравнению с ионизационным и другими методами, так как не зависят от энергетических характеристик излучения.

6. Химические методы основаны на изменении химического состава жидкостей или газов при взаимодействии с радиоактивным излучением. Типичными примерами такой реакции является радиолиз воды с образованием  $H^+$  и  $OH^-$  или разложение закиси азота ( $N_2O$ ) с образованием  $N_2$ ,  $O_2$  и  $NO_2$ . На этом принципе созданы жидкостные (ферросульфатные и др.), газовые химические дозиметры для измерения мощных потоков  $\gamma$ -квантов.

В *биологических методах* дозиметрии использована способность излучений изменять биологические объекты. Величину дозы оценивают по уровню летальности животных, степени лейкопении, количеству хромосомных aberrаций (структурные изменения), изменению окраски кожи, выпадению волос и др. Биологические методы не очень точны и менее чувствительны по сравнению с физическими.

В *расчётных методах* дозу излучений определяют путём математических вычислений. Это единственный метод, которым можно определить дозы проникнувших в живой организм и зафиксированных в его органах и тканях радионуклидов.

Количественные и качественные характеристики радиоактивного излучения, основанные на тех или иных методах регистрации, измеряются радиометрами, дозиметрами, спектрометрами и спектрометрическими комплексами.

Радиометр - прибор для измерения числа актов радиоактивного распада в единицу времени (активности). Определяет плотность потока ионизирующих излучений и т.д. При измерении мощности экспозиционной дозы фотонного излучения функции радиометра и дозиметра совпадают.

Дозиметр - устройство для измерения доз радиоактивного излучения или величин, связанных с дозами (мощность экспозиционной дозы, мощность поглощённой дозы и т.д.). Могут служить для измерения доз одного (гамма-дозиметр, нейтронный дозиметр и т.д.), либо смешанного излучения (гамма-бета дозиметр и т.д.).

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внешнего облучения является неотъемлемой частью системы обеспечения радиационной безопасности, направленной на охрану здоровья людей от воздействия ионизирующего излучения. Согласно международной практике, в отечественных нормах радиационной безопасности сформулированы цели и задачи обеспечения радиационной безопасности персонала при работе в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения

(контролируемые условия) и при радиационной аварии (выход источника излучения из-под контроля).

Индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) внешнего облучения проводится для ограниченного числа работников – персонала группы А и части персонала группы Б, для которых по результатам ГДК внешнего облучения оказалось превышено значение уровня введения индивидуального контроля УВК, а также для всех лиц, работающих с источниками ионизирующего излучения в условиях планируемого повышенного облучения и для определения доз аварийного облучения.

Результат проведения ИДК внешнего облучения даёт значения индивидуальной годовой эффективной или эквивалентной дозы для каждого конкретного работника.

Термин «**индивидуальная дозиметрия**» используется при определении доз отдельного индивидуума. Отметим, что индивидуальная дозиметрия может быть разделена на две категории:

- **дозиметрия внешнего облучения** (т.е. измерение доз от источников, вне тела человека);
- **дозиметрия внутреннего облучения** (т.е. измерение доз от источников внутри тела человека).

Методика термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) базируется на способности некоторых веществ запасать энергию ионизирующего излучения, которому они подвергаются. Запасённая энергия может сохраняться длительное время и освободиться в виде теплового излучения при нагревании этих веществ. На протяжении десятилетий корпорация Thermo Scientific (США) является разработчиком продуктов и решений в области термолюминесцентной дозиметрии под торговой маркой HARSHAW в полном соответствии с требованиями МАГАТЭ. Следствием высокого качества и лёгкости использования дозиметров HARSHAW стало их широкое распространение по всему миру, где они эффективно обеспечивают радиационный контроль персонала, как в ядерной энергетике, так и в других сферах деятельности человека, связанных с воздействием ионизирующего излучения.

Термолюминесцентные дозиметры (ТЛД) Thermo Scientific выполняются из тканеэквивалентных материалов, основанных на фториде лития LiF. Свойства этих материалов позволяют надёжно регистрировать дозы различных видов ионизирующих излучений. Считыватели термолюминесцентных дозиметров широко используются также в материаловедческих и промышленных исследованиях, и в радиологических исследованиях пищи. Специальное программное обеспечение WinREMS обеспечивает обработку результатов дозиметрических измерений (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Система HARSHAW для определения доз различных видов ионизирующих излучений.

ТЛД системы HARSHAW используются в следующих отраслях: ядерная энергетика, лаборатории ядернофизических исследований, таможня, индивидуальная дозиметрия при работе с ИИИ, гигиена окружающей среды, радиологические исследования пищи, ядерная медицина.

ТЛД материалы могут иметь разную формовку, то есть быть изготовленными в виде пластинок, кубиков, шариков, цилиндров. Для целей индивидуальной дозиметрии могут использоваться 2-х, 3-х или 4-х элементные ТЛД карты либо наручные дозиметры (рисунок 2).

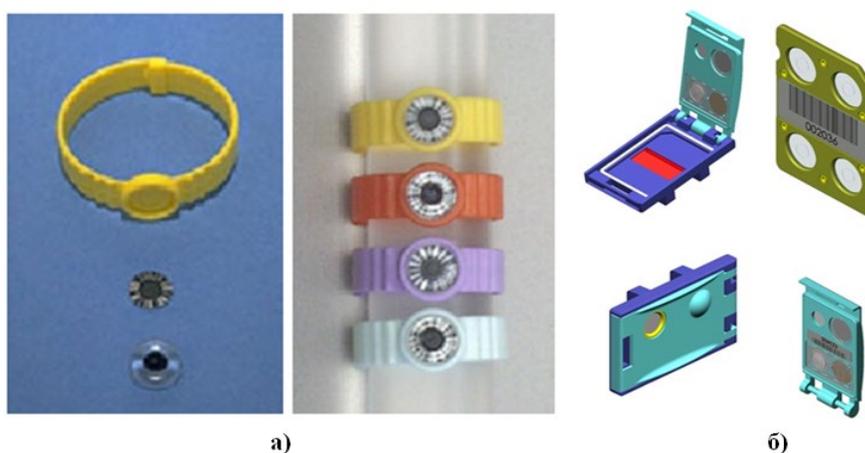


Рисунок 2 – Виды дозиметров: а) наручные, б) в виде карт.

Также известным разработчиком продуктов и решений в области термолюминесцентной дозиметрии под торговой маркой «ДОЗА-ТЛД» в полном соответствии с требованиями МАГАТЭ является дозиметрический термолюминесцентный комплекс «ДОЗА-ТЛД» (рисунок 3), в комплекте с разными типами индивидуальных термолюминесцентных дозиметров обеспечивает проведение индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) внешнего облучения фотонным и нейтронным излучением, а также определение доз в коже лица, пальцев рук и хрусталике глаза.

Таким образом, можно заключить, что одним из главных «поставщиков» радиационных поражений человека являются медицинские рентгенорадиологические процедуры, а не атомная энергетика и атомная промышленность, как общепринято считать. Следовательно, этот аспект должен учитываться в первую очередь для создания защитных систем, для планирования реагирования в аварийных ситуациях и для мониторинга облучения людей в XXI веке.

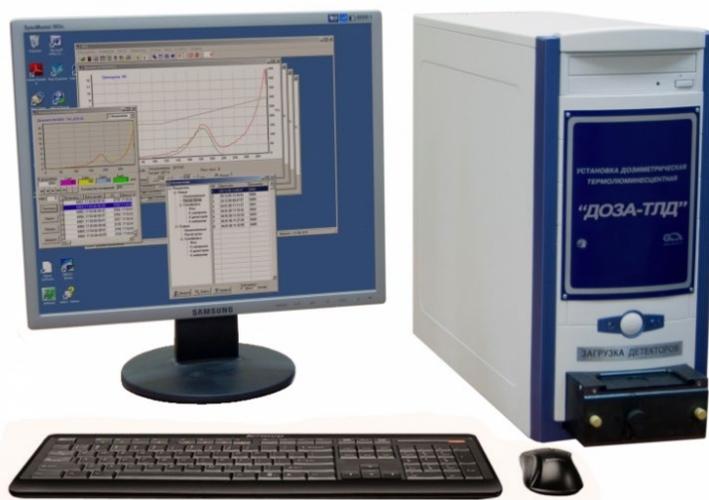


Рисунок 3 - Дозиметрический термолюминесцентный комплекс «ДОЗА-ТЛД».

В медицине основными мерами радиационной защиты являются следующими: обеспечение рентгенорадиологических исследований и их контроль качества; установление для облучения больных референтных диагностических уровней, обоснование рентгенорадиологических исследований.

Программа обеспечения качества рентгеновских радиологических процедур должна включать: оценку качества изображений при лучевой диагностике, качество лечения при лучевой терапии, калибровку терапевтического оборудования с применением современных методик, постоянный контроль физических эксплуатационных характеристик рентгенорадиологического оборудования, проверку калибровки и эксплуатационных условий для контрольных и дозиметрических приборов.

В общем, медицинское облучение - это составная часть общей проблемы – обеспечивающее радиационную безопасность медицинских пациентов.

Для решения данной проблемы в настоящее время необходимо применение комплексного подхода, соответствующих концепций, в которых указываются стратегия, тактика, пути развития, взаимодействие всех заинтересованных организаций и отдельных специалистов, а также поиск решения важнейших задач.

Для достижения вышеуказанного необходимо опираться на современные научные достижения, в том числе, в области медицинской радиоэкологии, радиационной гигиены, радиобиологии и др. При этом необходимо также учесть, что современные дозиметрические и радиобиологические результаты и данные, с одной стороны, по мере накопления информации постоянно меняются, с другой стороны – указывают на необходимость увеличения требований к радиационной защите пациентов и больных.

Перечисленные меры эффективно решают современные проблемы использования в медицине источников ионизирующего излучения и являются гарантом обеспечения требуемых уровней радиационной безопасности.

**Сведения об авторах:**

**Шосафарова Шоира Гулмахмадова** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ. 734025, Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки 33, E-mail: [sh.shosafarova@cbrn.tj](mailto:sh.shosafarova@cbrn.tj)

*Малышева Елена Юрьевна – старший научный сотрудник Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ. 734025, Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки 33, E-mail: [malishevaelena@mail.ru](mailto:malishevaelena@mail.ru)*

**ANALYSIS OF METHODS AND INSTRUMENTS OF MEASUREMENT  
RADIOACTIVITY, ESTIMATES OF DOSE LOADS OF MEDICAL PERSONNEL**

*Sh.G. Shosafarova, E.Yu. Malysheva*

**Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the  
National Academy of Sciences of Tajikistan.**

**734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Рудаки avenue 33,**

**E-mail: [malishevaelena@mail.ru](mailto:malishevaelena@mail.ru), [sh.shosafarova@cbrn.tj](mailto:sh.shosafarova@cbrn.tj)**

**Abstract**

The article analyzes the available modern methods and means aimed at determining the doses of radioactive radiation, in particular medical personnel, due to the fact that it is medical workers who experience the maximum dose loads from exposure to ionizing radiation.

The main methods for recording the exposure of people and, in particular, medical personnel, as well as the principles of radiation protection and dose reductions are considered - this is the principle of justification, the principle of optimization and the principle of rationing.

**Key words:** exposure, medical personnel, dose loads, exposure registration methods, TLD dosimetry, dosimetric control.