

БЕЛАРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 615.849.5:616.314.13

**ТОЛСТИК
Сергей Васильевич**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ АВАРИЙНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ
ПО СПЕКТРАМ ЭПР ЭМАЛИ ЗУБОВ У НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ,
ПОДВЕРГШЕГОСЯ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ
В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук
по специальности 03.01.01 – радиобиология

Минск, 2017

Научная работа выполнена в учреждении образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

Научный руководитель –

Кириллов Владимир Андреевич,

доктор биологических наук, доцент,
руководитель научной группы ЭПР
дозиметрии и цитологии НИЧ УО
«Белорусский государственный
медицинский университет»

Официальные оппоненты:

Стожаров Александр Николаевич,
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиационной
медицины и экологии
УО «Белорусский государственный
медицинский университет»;

Тернов Владимир Иванович,
доктор медицинских наук, профессор,
профессор кафедры гигиены и медицинской
экологии Государственного учреждения
образования «Белорусская медицинская
академия последипломного образования»

Оппонирующая
организация –

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной
академии наук Беларусь»

Защита состоится «15» мая 2017 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.22 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8, корпус юридического факультета, ауд. 407.

Телефон ученого секретаря: (+375-17)299-00-18, e-mail: nlysukha@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан « » апреля 2017 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

Н.А. Лысухо

ВВЕДЕНИЕ

В результате аварии на Чернобыльской АЭС произошел выброс в окружающую среду радиоактивных материалов. Наибольшая плотность радиоактивного загрязнения почвы и атмосферы была отмечена на территории прилегающей к Чернобыльской АЭС в европейской части Советского Союза. С радиологической точки зрения наиболее значимыми радионуклидами явились изотопы ^{131}I и ^{137}Cs , т.к. они обусловили основные лучевые нагрузки на население в целом [UNSCEAR, 2000]. Сравнительный анализ масштабов загрязнения территории различных стран показал, что Беларусь явилась наиболее пострадавшим государством. Долговременному загрязнению подверглось 46,65 тыс. км² территории Беларуси (23% общей площади), на которой проживало 2,1 млн. человек (около 20% всего населения) [МАГАТЭ, 1992].

Для изучения влияния внешнего облучения на состояние здоровья, прогноза течения заболевания, научного анализа и доказательства радиационно-индуцированной природы заболеваний необходимо знание индивидуальных поглощенных доз населения, пострадавшего в результате аварии на ЧАЭС. Выявление зависимости доза-эффект позволит установить причинно-следственную связь между возрастанием частоты ряда патологий и дополнительной дозовой нагрузкой на организм, а также позволит выявить группу риска, нуждающуюся в первоочередном углубленном медицинском обследовании.

По прошествии 30 лет после аварии на ЧАЭС метод ЭПР-дозиметрии остается единственным инструментальным методом ретроспективной оценки доз облучения, у людей подвергшихся действию аварийного радиоактивного излучения [Brady et al., 1968; IAEA, 2002]. С помощью ЭПР дозиметрии эмали зубов проводится оценка суммарной накопленной дозы облучения за всю жизнь человека. В аварийных ситуациях дозовая нагрузка формируется в основном за счет внешнего гамма облучения. Однако в эмали зубов доза может также формироваться за счет фонового излучения, ультрафиолетовой компоненты солнечного света и при диагностическом рентгеновском обследовании зубочелюстной системы. Кроме того, ранее не изучался вопрос о возможном вкладе в дозовую нагрузку механо-индуцированных радикалов, которые могут формироваться в зубной эмали в процессе лечения зубов на высокоскоростных стоматологических установках. Поэтому для адекватной оценки аварийных доз необходимо учитывать вклад в кумулятивную дозовую нагрузку вышеперечисленных факторов.

Реализация результатов исследования на практике будет способствовать унификации и оптимизации метода ЭПР дозиметрии по эмали зубов. Это позволит,

в свою очередь, выявить группу риска, нуждающуюся в углубленном медицинском обследовании.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами.

Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ по заданиям «Разработать на базе ЭПР-дозиметрии метод оценки вклада диагностического рентгеновского облучения в накопленную дозу при сочетанном с гамма-излучением воздействии на эмаль зубов» (2006–2008 гг., № госрегистрации 20062763) и «Разработать методику корректной оценки доз облучения населения, подвергшегося радиационному воздействию в результате Чернобыльской аварии, на основе метода ЭПР-дозиметрии эмали зубов» (2011–2013 гг., № госрегистрации 20113579).

Цель исследования – разработка методики корректной оценки аварийных доз облучения населения Беларуси, подвергшегося радиационному воздействию в результате катастрофы на ЧАЭС, на основе метода ЭПР-дозиметрии эмали зубов.

Задачи исследования:

1. Выявить механо-индуцированные парамагнитные центры в эмали зубов и оценить их вклад в индивидуальную поглощенную дозу.
2. Сравнить дозы облучения, сформированные рентгеновскими лучами и гамма радиацией.
3. Разработать протокол ЭПР дозиметрических исследований.
4. Реконструировать аварийные дозы облучения населения, пострадавшего в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Объектом исследования являлась эмаль удаленных по стоматологическим показаниям зубов. Предметом исследования служили спектры ЭПР эмали зубов лиц, подвергшихся радиационному облучению.

Научная новизна. В эмали зубов был выявлен механо-индуцированный сигнал ЭПР, сформированный в процессе лечения зубов на современных высокоскоростных стоматологических установках. Показан существенный вклад механо-индуцированной компоненты спектра ЭПР в аварийную дозу облучения.

Разработана методика реконструкции аварийных доз облучения по спектрам ЭПР эмали зубов, учитываяшая вклад в дозиметрический сигнал ультрафиолетовой компоненты солнечного света, фонового излучения, механо-индуцированного воздействия и порогового значения чувствительности метода ЭПР дозиметрии эмали зубов.

Положения, выносимые на защиту:

1. При механической обработке эмали зубов высокоскоростными стоматологическими борами формируются долгоживущие парамагнитные центры, которые вызывают увеличение интенсивности радиационно-индуцированного

сигнала ЭПР. В результате механического дробления зубной эмали при подготовке образцов образуются короткоживущие свободные радикалы, что приводит к повышению амплитуды нативного сигнала ЭПР. Долгоживущие и короткоживущие механо-индуцированные парамагнитные центры, возникающие в процессе лечения зубов и подготовки образцов эмали, вызывают значительное завышение дозы облучения. Устранение вклада долгоживущей механической компоненты осуществимо путем деконволюции спектров ЭПР средствами специального программного обеспечения. Вклад в дозовую нагрузку короткоживущих радикалов устраним путем экспозиции образцов при комнатной температуре в течение 48 часов.

2. Для адекватной реконструкции поглощенных доз по спектрам ЭПР эмали зубов необходимо, чтобы формирование доз в эмали зубов и дополнительное облучение препаратов эмали проводилось от внешних источников электромагнитного излучения одинаковой энергии.

3. Разработанный протокол ЭПР-дозиметрических исследований дает возможность оценить вклад в кумулятивную дозу фонового и ультрафиолетового излучения, нижнего порога чувствительности метода, а также вклад механо-индуцированной компоненты. Использование такого протокола делает возможным не только адекватно и корректно оценить аварийную дозу, но и унифицировать метод ЭПР-дозиметрии.

4. Реконструкция доз облучения согласно разработанному протоколу выявило, что наибольшие аварийные дозовые нагрузки среди пострадавшего населения Беларуси получили ликвидаторы аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года участия. Среди жителей пострадавших регионов самые большие аварийные дозы получили жители, проживающие не менее 10 лет с момента аварии на территориях с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs 555 – 1480 кБк·м⁻². Величина аварийных доз облучения жителей контаминированных радионуклидами территорий возрастала с увеличением уровня загрязненности почвы по ^{137}Cs .

Личный вклад соискателя. Автором изучена отечественная и зарубежная литература по теме диссертации, осуществлен сбор и заполнение паспортов на удаленные зубы, выполнено препарирование образцов эмали зубов, проведена регистрация спектров ЭПР зубной эмали, выполнена математическая обработка спектров ЭПР зубной эмали с последующей оценкой индивидуальных поглощенных доз. Соискателем полностью проведена статистическая обработка экспериментальных данных.

Автор являлся соисполнителем тем НИР, в рамках которой выполнено настоящее исследование. Программное обеспечение по реконструкции доз облучения по спектрам ЭПР эмали зубов создано старшим научным сотрудником лаборатории ЭПР-дозиметрии и цитологии БГМУ к.т.н. С.В. Дубовским.

Апробация результатов диссертации. Полученные результаты были представлены на 2-ом и 5-ом Международном симпозиуме «Актуальные проблемы дозиметрии» (Минск, 1999, 2005); II Международной научно-практической конференции «Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: состояние и перспективы» (Гомель, 2004); 4-й и 9-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2004, 2009: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2004, 2009); The International conference unification and radiation monitoring on NPP location regions (Armenia, Yerevan, 2004); The 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International symposium on EPR dosimetry and application (Bethesda, Maryland, USA, 2006); Международной конференции «Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов» (Минск, 2006); Международной научно-практической конференции «Чернобыльские чтения -2008» (Гомель, 2008); The International conference on BioDose 2008 (Hanover, New Hampshire, USA, 2008).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций, составляющих 1,4 авторских листа, 3 статьи в зарубежных научных журналах, 1 статья в информационно-аналитическом журнале, 6 статей в сборниках материалах международных и отечественных конференций, 5 тезисов докладов и 1 инструкция по применению, утвержденная Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 114 страницах, состоит из введения, общей характеристики работы, 7 глав, заключения и библиографического списка, состоящего из списка использованных источников, включающего 167 библиографических наименования (из них 44 на русском языке, 1 на белорусском языке, 122 на иностранных языках) и списка собственных публикаций (19 библиографических наименований), а также 2 приложений. Материал иллюстрирован 33 рисунками и 11 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы исследования

В экспериментах использовали зубы, удаленные по стоматологическим показаниям у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС и населения проживающего на загрязненных радионуклидами территориях Беларуси. В качестве контроля использовали зубы, удаленные у жителей «чистых» территорий.

Препарирование эмали осуществляли рядом последовательных операций. Вначале зуб с помощью стоматологических боров очищали от остатков

органических веществ, зубного камня, пигментированных вкраплений и кариозных участков. Кусачками отделяли корень, а коронку зуба раскалывали вдоль вертикальной оси на две части. Отделение эмали от дентина и пульпы осуществляли с помощью обработки зубов кратковременными воздействиями твердосплавными борами различной величины на низких оборотах вращения ($\leq 30\,000$ об/мин) с водяным охлаждением. Большие куски эмали измельчали в агатовой ступке пестиком на мелкие гранулы размером от 0,5 до 1,0 мм в поперечнике. Затем готовили навески массой 100 мг. Образцы перед регистрацией выдерживали в термостате при 40°C в течение суток или при комнатной температуре в течение двух суток для затухания нестабильных механо-индуцированных радикалов.

Измерение спектров эмали зубов проводили на ЭПР-спектрометре Bruker ECS 106 EPR, работающем в X-диапазоне (длина волны 3 см) с использованием резонатора 4102ST. Измерение спектров эмали зубов проводили на ЭПР-спектрометре Bruker ECS-106 при следующих характеристиках регистрации: мощность СВЧ- поля 10 мВт, коэффициент усиления 10^5 , амплитуда модуляции 0,25 мТл, время развертки поля 10 с, постоянная времени приемника 10 мс, развертка поля 10 мТл, число накоплений спектра 100, температура комнатная.

Гамма облучение эмали проводили на дозиметрической линейке от калиброванных источников ^{137}Cs и ^{60}Co с мощностью кермы в воздухе 30 мГр/мин и 630 мГр/мин, соответственно, на поверхности фантома суммарными дозами гамма радиации 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 Гр. Механическое воздействие на эмаль зубов, моделирующее процесс их лечения, осуществляли путем препарирования эмали стоматологическими борами кратковременными воздействиями на высоких оборотах вращения $\geq 300\,000$ об/мин с водяным охлаждением.

Нелинейное моделирование спектров ЭПР с последующей оценкой величины кумулятивной дозы облучения проводили с помощью компьютерной программы «Зубная эмаль-3» [V. Kirillov, S. Dubovsky, 2009].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка вклада механо-индуцированных парамагнитных центров в дозовую нагрузку, реконструированную по спектрам ЭПР эмали зубов

Спектры ЭПР зубной эмали, полученной отделением от дентина с помощью стоматологических боров на низких оборотах вращения $\sim 30\,000$ об/мин, содержали только, так называемый, нативный сигнал (Рисунок 1, спектр 1). Этот сигнал представлял собой близкий к изотропной форме синглет с $g = 2,0045$ и шириной линии от пика до пика $\Delta H_{pp} = 0,8$ мТл. Воздействие ионизирующего излучения на эмаль зубов вызывало формирование стабильных радикалов (Рисунок 1, спектр 3).

На этом рисунке дан спектр образца эмали, подвергнутого радиационному воздействию дозой 4 Гр. Радиационно-индуцированный сигнал этих радикалов в спектрах ЭПР проявлялся в виде линии анизотропной формы с $g_{\perp} > g_{\parallel}$. Факторы спектроскопического расщепления имели значения $g_{\perp}=2,0027$, $g_{\parallel} = 1,9973$, а $\Delta H_{pp} = 0,9$ мТл.

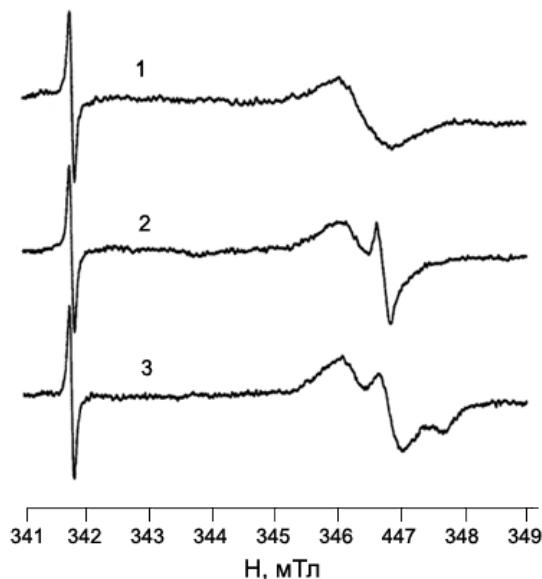


Рисунок 1. – Спектры ЭПР эмали зубов контрольного образца (1) и образцов подвергнутые механическому (2) и радиационному (3) воздействию

Механическое воздействие на эмаль зубов осуществляли борами при высоких оборотах вращения порядка 300 000 об/мин, используемых при лечении зубов. Такое воздействие приводило к образованию стабильных парамагнитных центров в эмали. Сигнал ЭПР таких механо-индуцированных парамагнитных центров имел изотропную форму (Рисунок 1, спектр 2). Параметры гамильтониана этого сигнала равнялись: $g = 2,0029$, ширина синглета составляла $\Delta H_{pp}=0,2$ мТл. Количество свободных радикалов, формирующихся при механическом воздействии на эмаль, возрастало с увеличением площади обрабатываемой поверхности. Так, обработка половины зуба стоматологическими борами на высоких оборотах вращения (~ 300 000 об/мин.) с двух сторон (со стороны эмалевой и дентинной поверхности) привела к возрастанию интенсивности механо-индуцированного сигнала в 5 раз по сравнению с образцом, обработанным только с одной стороны (дентинной).

Механическое воздействие на эмаль в процессе дробления эмали также приводило к формированию свободных радикалов, которые являлись коротко-живущими, и затухали через двое суток после инкубации образца при комнатной температуре.

Сравнительное изучение спектров ЭПР эмали зубов, подвергнутых различному механическому и радиационным воздействиям, показало, что механо-

и радиационно-индуцированные сигналы расположены в одной достаточно узкой области спектра ЭПР и g -факторы их максимумов имели одинаковое значение 2,0031.

При проведении экспериментов по сочетанному радиационному и механическому воздействию на эмаль моделировались две возможные ситуации: сначала радиационное, а затем механическое воздействие и наоборот – сначала механическое воздействие, а затем радиационное. В первой серии установлено, что в спектрах ЭПР эмали зубов, подвергнутых последовательному радиационному и механическому воздействию, отмечалось увеличение дозиметрического сигнала по сравнению со спектрами только облученных образцов эмали зубов (Рисунок 2). В другой серии экспериментов интенсивность радиационно-индуцированного сигнала в спектре образца, подвергнутого сочетанному механическому и радиационному воздействию (Рисунок 3, спектр 4), превышала интенсивность сигнала образца, подвергнутого только радиационному воздействию (Рисунок 3, спектр 3).

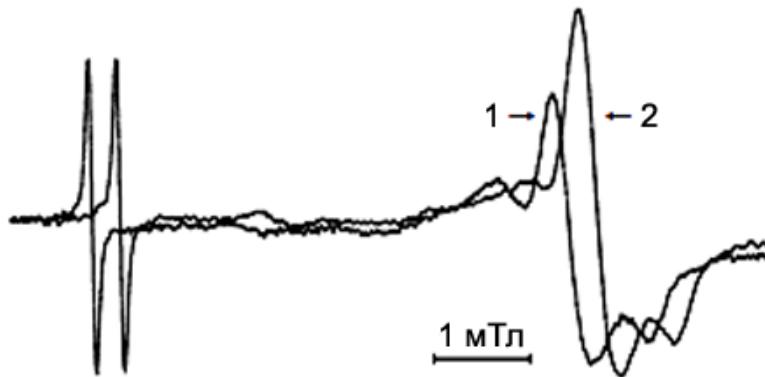


Рисунок 2. – Спектр ЭПР эмали зуба, подвергнутого только радиационному облучению (1) и сочетанному вначале радиационному, а затем механическому воздействию (2)

Следует отметить, что форма сигналов как при сочетанном механическом и радиационном воздействии, так и только при радиационном – была практически идентична (Рисунок 3, спектры 3 и 4). Увеличение интенсивности дозиметрического сигнала в спектрах ЭПР эмали зубов, подвергнутых сочетанному механическому и радиационному воздействиям, по-видимому, обусловлено суперпозицией механо- и радиационно-индуцированного сигналов. Наблюдаемый эффект не зависел от последовательности операций, т.е. сначала радиационное, а затем механическое воздействие либо наоборот - сначала механическое, а затем радиационное воздействие (Рисунок 3, спектры 3 и 4). Такая суперпозиция двух сигналов приводила к возрастанию дозиметрического сигнала. Такое возрастание интенсивности дозиметрического сигнала должно приводить к завышению реконструированных по спектрам ЭПР эмали зубов доз.

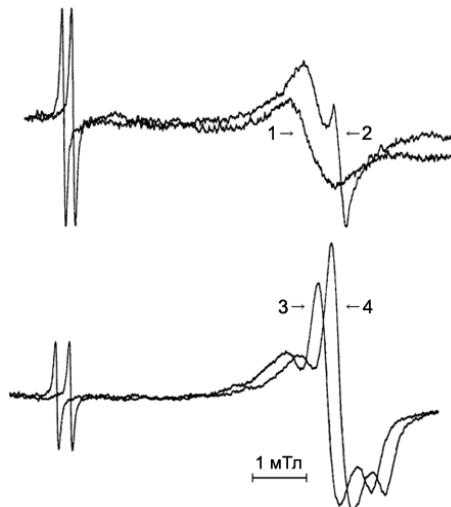


Рисунок 3. – Спектр ЭПР эмали зуба контрольного образца (1), образца подвергнутого только механическому воздействию (2), образца подвергнутого только радиационному облучению (3) и образца подвергнутого сочетанному вначале механическому, а затем радиационному воздействию (4)

Оценить вклад механо-индуцированных парамагнитных центров в интенсивность дозиметрического сигнала в сложных спектрах ЭПР эмали зубов, подвергнутых воздействию внешнего облучения, можно только с помощью компьютерного моделирования спектров. Это связано с тем, что в отличие от радиационного излучения, величину которого можно измерить прямым или косвенным способом, методы измерения механического воздействия, осуществляемого стоматологическими борами за счет трения в процессе лечения зубов, отсутствуют. Математическую обработку спектров ЭПР и оценку дозовых нагрузок проводили с помощью компьютерной программы «Зубная эмаль-3», которая позволяла осуществлять деконволюцию спектра как на две (нативную и радиационно-индуцированную компоненты), так и на три (нативную, радиационно-и механо-индуцированную компоненты) составляющие [V. Kirillov, S. Dubovsky, 2009].

В таблице 1 представлены результаты реконструкции 10 индивидуальных поглощенных доз по спектрам ЭПР эмали зубов жителей, проживающих в загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС районов Беларуси, рассчитанные с помощью компьютерной программы «Зубная эмаль-3» по двум и по трем компонентам спектра ЭПР. Таким образом, механическое воздействие на зубы стоматологическими борами в процессе лечения зубов приводит к завышению величины дозовой нагрузки. При этом разница между величинами доз, рассчитанными по двум и по трем компонентам спектра ЭПР эмали зубов, составляла до 94,8%.

Таблица 1. – Индивидуальные поглощенные дозы (мГр) жителей контаминированных радионуклидами территорий

№ п/п	Определение дозы, мГр			
	По 2-м компонентам	По 3-м компонентам	Разница между дозами, реконструированными по 2-м и по 3-м компонентам	
			Фактическая, мГр	Относительная, %
1	92	92	0	0
2	118	62	56	47,5
3	175	93	82	46,9
4	423	318	105	24,8
5	366	259	107	29,2
6	252	42	210	83,3
7	269	14	255	94,8
8	291	20	271	93,1
9	411	112	299	72,7
10	395	85	310	78,5

Оценка доз облучения, сформированных электромагнитным излучением различной энергии

Показано, что если формирование дозы в эмали зубов происходило за счет X-лучей, а дополнительное облучение препаратов эмали осуществлялось гамма-радиацией, то это приводит к значительному завышению реконструированной по спектрам ЭПР эмали поглощенной дозы по сравнению с приложенной (Таблица 2).

Таблица 2. – Приложенные и реконструированные дозы. Приложенные дозы были сформированы облучением половинок зуба X-лучами. Дозы, реконструированные по спектрам ЭПР эмали зубов, были получены путем дополнительного облучения гамма-радиацией (стандартная методика)

Приложенная доза, $D_{\text{пр}}$, мГр	Реконструированная доза, $D_{\text{рек}} \pm \sigma$, мГр	Отношение между реконструированной и приложенной дозами
100	$768,1 \pm 139,5$	7,7
250	$2258,7 \pm 127,4$	9,0
500	$5650,9 \pm 587,8$	11,3

В случае же, если доза формировалась за счет гамма-радиации, а дополнительное облучение осуществлялось X-лучами, то это приводит к значительному занижению реконструированной дозы по сравнению с приложенной.

Если формирование дозы и дополнительное облучение осуществлялось от внешних источников электромагнитного излучения одинаковой энергии, то величина реконструированной дозы близка по значению к приложенной.

Полученные данные указывают на то, что для адекватной реконструкции поглощенных доз по спектрам ЭПР эмали зубов необходимо, чтобы формирование

доз в эмали зубов и дополнительное облучение препаратов эмали проводилось от внешних источников электромагнитного излучения одинаковой энергии.

Протокол ЭПР-дозиметрических исследований

Для адекватного восстановления аварийных дозовых нагрузок необходимо унифицировать подход к оценке величины индивидуальных поглощенных доз, что позволит корректно интерпретировать полученные результаты. Разработанный нами протокол ЭПР-дозиметрических исследований состоял из 7 последовательных этапов: отбор, перевозка и хранение экстрагированных зубов, заполнение паспорта на удаленный зуб, препарирование образцов эмали зубов на низких оборотах вращения боров, регистрация спектров ЭПР зубной эмали, дополнительное облучение образцов, деконволюция спектров ЭПР зубной эмали, оценка кумулятивных индивидуальных поглощенных доз.

Для оценки аварийной дозы D_A проводилась коррекция индивидуальной дозовой нагрузки D_{EPR} , рассчитанной с помощью программы, по формуле (1):

$$D_A = D_{EPR} - D_B - D_{Th} - D_M - D_{UV} - D_R \quad (1)$$

Как видно из формулы (1) аварийная доза D_A , полученная за период участия в ликвидации последствий катастрофы или/и проживания на загрязненной территории, рассчитывалась путем вычитания из восстановленной по спектрам ЭПР эмали зубов индивидуальной поглощенной дозы D_{EPR} пяти составляющих. Одна составляющая – это доза, формирующаяся за счет естественного фонового гамма-излучения D_B . При мощности фонового излучения $12 \cdot 10^{-6}$ Р/час за год проживания на контрольных незагрязненных территориях набирается доза около 1,0 мГр. D_B рассчитывали с учетом возраста индивидуума за вычетом 12 лет, по истечении которых, как правило, происходит смена молочных зубов на постоянные. Вторая составляющая – это нижний порог чувствительности метода ЭПР-дозиметрии по эмали зубов, которая согласно нашим расчетам равняется 32 мГр. Третья составляющая D_M – механо-индуцированная компонента спектра ЭПР эмали зубов, формирующаяся в процессе механического воздействия на эмаль в процессе лечения зубов высокоскоростными стоматологическими борами. Учет вклада механической компоненты осуществляли в автоматическом режиме в процессе математической обработки спектров ЭПР эмали зубов с помощью программы «Зубная эмаль-3». Четвертая составляющая D_{UV} – ультрафиолетовая компонента спектра ЭПР, формирующаяся за счет естественного солнечного света, удалялась путем снятия тонкого слоя эмали с поверхности зубов. Пятая составляющая D_R – доза, сформированная диагностическим рентгеновским излучением. С учетом сложности методики оценки вклада рентгеновских лучей зубы, содержащие рентген-индуцированную компоненту, исключали из ЭПР-дозиметрических исследований [В.А. Кириллов и др., 2013, 2014].

Восстановление аварийных доз облучения ликвидаторов аварии на ЧАЭС и жителей контаминированных радионуклидами территорий Беларуси

ЭПР-дозиметрические исследования проводили с учетом разработанного нами протокола. Окончательную оценку аварийных доз облучения осуществляли по формуле (1). Так было установлено, что индивидуальные значения доз облучения ликвидаторов аварии 1986 и 1987 годов участия колебались в интервале от 32,7 до 317,0 мГр (среднее значение дозы составляло $123,9 \pm 75,2$ мГр). У всех жителей загрязненных территорий независимо от уровня содержания в почве радиоизотопа ^{137}Cs – от 31,4 до 281,9 мГр ($88,3 \pm 63,9$ мГр). Для населения контрольных территорий доза варьировала в диапазоне 0,0–44,7 мГр ($13,9 \pm 12,2$ мГр). Данные приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Среднее значение и интервал колебаний аварийных доз облучения ликвидаторов аварии 1986–1987 гг. участия и жителей, проживающих на территориях с разным уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs

Категория населения	Число обследованных	Среднее значение, $x \pm \sigma$, мГр	Интервал колебаний, мГр
Ликвидаторы	75	$123,9 \pm 75,2$	32,7 – 317,0
Жители	191	$88,3 \pm 63,9$	31,4 – 281,9
Контроль	100	$13,9 \pm 12,2$	0,0 – 44,7

Построение гистограмм распределения по величине дозы облучения с шагом 100 мГр выявило, что дозовые нагрузки населения незатронутых Чернобыльской аварией территорий имели вид одного столбца, т.е. все находились в первом классе (Рисунок 4). Для ликвидаторов аварии и жителей загрязненных районов наблюдалось экспоненциальное подобное распределение частот встречаемости. В случае ликвидаторов число классов на гистограммах возрастало до 4, а для жителей – до 3 классов. При этом доля лиц, с дозой попадающих в первый класс, для ликвидаторов снижалась более чем на 50%, а для жителей – только на 30% по сравнению с контролем.

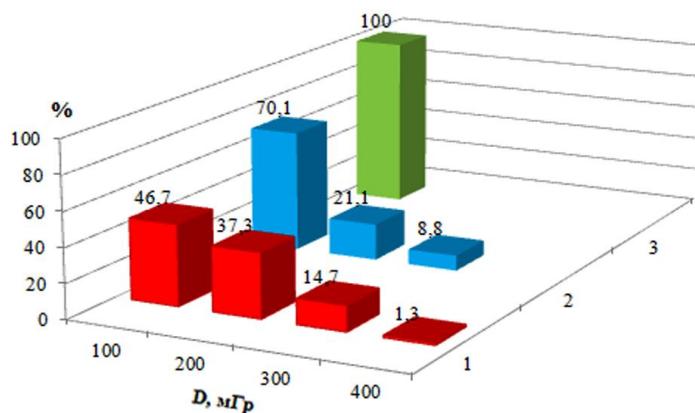


Рисунок 4. – Гистограммы аварийных доз облучения ликвидаторов 1986 и 1987 годов участия (1), жителей контаминированных радионуклидами территорий с разным уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs (2) и населения незатронутых Чернобыльской аварией районов (3)

Дифференцированная оценка дозовых нагрузок с учетом года участия в восстановительных работах выявила, что аварийные дозы у ликвидаторов 1986 года участия колебались от 38,5 до 317,0 мГр (средняя доза составляла $148,6 \pm 80,7$ мГр), а у ликвидаторов 1987 года дозы составили 32,7 – 265,7 мГр ($95,6 \pm 57,5$ мГр). Данные приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Средние значения и интервал колебания аварийных доз облучения ликвидаторов аварии на ЧАЭС 1986 и 1987 годов участия

Год участия	Средние значения, $x \pm \sigma$, мГр	Интервал колебания, мГр
1986	$148,6 \pm 80,7$	38,5 – 317,0
1987	$95,6 \pm 57,5$	32,7 – 265,7

Построение гистограмм доз облучения ликвидаторов с учетом года участия в восстановительных работах позволило провести более детальный анализ аварийных дозовых нагрузок. В частности, выявлено, что частотное распределение на гистограммах ликвидаторов 1986 года участия имело куполообразный вид и число классов равнялось 4, а для 1987 года – распределение носило экспоненциальноподобный характер и число классов равнялось 3 (Рисунок 5). При этом доля лиц, с дозой попадающих в первый класс, для ликвидаторов 1986 года участия составляла 35%, а у ликвидаторов 1987 года – 60%. Смещение центра тяжести гистограмм распределения дозовых нагрузок у ликвидаторов 1986 года в сторону больших величин указывало на то, что эта группа получила большие дозы облучения по сравнению с участниками восстановительных работ 1987 года.

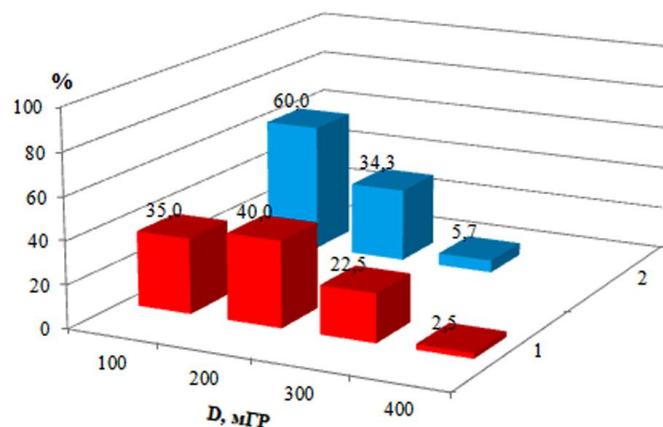


Рисунок 5. – Гистограммы аварийных доз облучения ликвидаторов 1986 (1) и 1987 (2) годов участия

Восстановленные аварийные дозы жителей районов с различным уровнем загрязненности территорий радионуклидами колебались в значительном интервале. Так, дозы облучения жителей г. Гомеля и населенных пунктов Бобовка, Боровики, Даниловичи, Жгунь, Куроное, Лучежевичи, Небытов, Мозырь, Октябрь, Светлогорск и Стодоличи Гомельской области, а также населенных пунктов Брест, Дребск, Вишневичи, Идна, Луницец, Пинск, Семигостики и Столин Брестской области с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs $37 - 185 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ варьировали в диапазоне от 31,4 до 190,3 мГр (обследовано 80 человек). В населенных пунктах Александровка, Буда Головчицкая, Велетин, Даниловичи, Демидов, Дуравичи, Звеняцкое, Золотой Рог, Комарин, Присно, Старое село, Столбун, Туларино и Хойники Гомельской области с уровнем загрязненности по ^{137}Cs $185 - 555 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ – от 33,8 до 230,4 мГр (обследовано 55 человек). В населенных пунктах Брагин, Ветка, Киров, Корма, Наровля, Новоселки, Стреличево, Хальч, Хильчиха, Храпково и Шерстин Гомельской области с уровнем загрязненности по ^{137}Cs $555 - 1480 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ – от 35,9 до 281,9 мГр (обследовано 56 человек). Средние значения аварийных доз жителей территорий, затронутых Чернобыльской аварией, зависели от уровня загрязненности почвы по ^{137}Cs (Таблица 5). При этом, средние значения дозовых нагрузок возрастили с повышением уровня загрязненности территорий в ряду $37 - 185 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$, $185 - 555 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$, $555 - 1480 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$.

Таблица 5. – Средние значения и интервал колебания аварийных доз облучения жителей населенных пунктов с разным уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs

Уровень загрязненности почвы по ^{137}Cs , $\text{kБк}\cdot\text{м}^{-2}$	Средние значения доз, $x \pm \sigma$, мГр	Интервал колебания доз, мГр
Контроль	$13,9 \pm 12,2$	$0,0 - 44,7$
$37 - 185$	$68,5 \pm 47,7$	$31,4 - 190,3$
$185 - 555$	$85,5 \pm 61,7$	$33,8 - 230,4$
$555 - 1480$	$125,9 \pm 74,5$	$35,9 - 281,9$

В то же время, гистограммы восстановленных аварийных доз облучения жителей районов с различным уровнем загрязненности территорий радионуклидами во всех случаях имели экспоненциально подобный характер (Рисунок 6). Наибольшее снижение на 50% доли лиц, с аварийной дозой попадающей в первый класс, наблюдалось у жителей районов с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs $555 - 1480 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$. Для жителей территорий с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs $185 - 555 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ и $37 - 185 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$ этот показатель составлял приблизительно 30% (число классов равнялось 3) и 20% (число классов равнялось 2) соответственно.

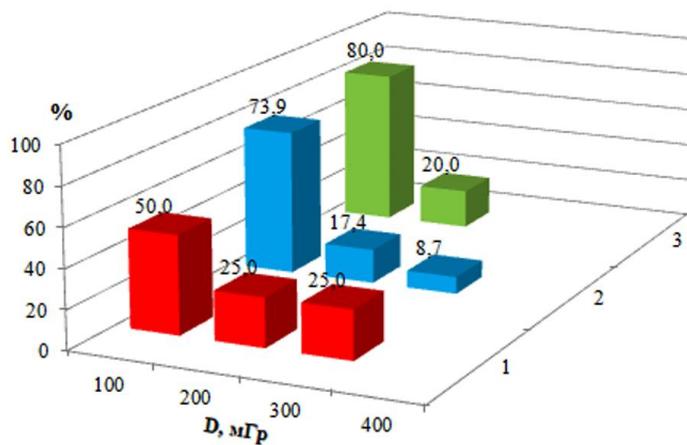


Рисунок 6. – Гистограммы аварийных доз облучения жителей территорий с разным уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs :
1 – 555 – 1480 $\text{kBk} \cdot \text{m}^{-2}$; 2 – 185 – 555 $\text{kBk} \cdot \text{m}^{-2}$; 3 – 37 – 185 $\text{kBk} \cdot \text{m}^{-2}$

Анализ данных показал, что среди работников, вовлеченных в аварию в период чрезвычайной ситуации, наибольшие аварийные дозы облучения получили ликвидаторы, принимавших участие в восстановительных мероприятиях в 30-километровой зоне вокруг АЭС сроком не менее 1 месяца в 1986 году. А среди населения загрязненных радионуклидами территорий наибольшую аварийную дозовую нагрузку получили жители районов с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs 37 – 185 $\text{kBk} \cdot \text{m}^{-2}$, которые прожили там не менее 10 лет с 1986 по 1996 годы. При этом значение средней дозы ликвидаторов аварии 1986 года участия, накопленной в течение 1 месяца пребывания в 30-километровой зоне, в 1,2 раза превышало величину средней дозы населения контаминированных районов с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs 37 – 185 $\text{kBk} \cdot \text{m}^{-2}$, накопленной за 10 лет проживания на этих территориях.

Выявлено возрастание средней аварийной дозы облучения жителей контаминированных радионуклидами территорий с увеличением уровня загрязненности почвы по ^{137}Cs .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

- Воздействие на эмаль зубов твердосплавными борами на высоких оборотах вращения $\geq 300\ 000$ об/мин, используемых при стоматологическом лечении зубов, приводит к формированию долгоживущих механо-индукционных парамагнитных центров, у которых максимум сигнала ЭПР совпадает с максимумом радиационно-индукционного сигнала. Суперпозиция этих сигналов приводит к увеличению интенсивности радиационно-индукционного сигнала и, как следствие, к значительному завышению (от 10 до 90 %) индивидуальной дозы облучения, реконструируемой по спектрам ЭПР эмали зубов [1, 4, 5, 14]. При

механическом дроблении зубной эмали в процессе подготовки образцов происходит образование короткоживущих механо-индуцированных свободных радикалов, находящихся в одной спектральной области с нативным сигналом ЭПР. Суперпозиция этих сигналов вызывает повышение амплитуды нативного сигнала ЭПР, результатом которой будет увеличение реконструируемой индивидуальной дозы облучения [1, 2, 4, 16, 17, 18]. Устранение долгоживущих и короткоживущих механо-индуцированных парамагнитных центров, возникающих в процессе лечения зубов и дробление эмали, необходимое для корректной оценки индивидуальной дозы облучения, осуществляют, в первом случае, за счет деконволюции спектров ЭПР с помощью компьютерного моделирования, а, во-втором, путем выдерживанием образцов при комнатной температуре в течение 48 часов [1, 4].

2. Показано, что если формирование дозы в эмали зубов происходило за счет X-лучей, а дополнительное облучение препаратов эмали осуществлялось гамма-радиацией, то это приводит к значительному завышению реконструированной по спектрам ЭПР эмали поглощенной дозы по сравнению с приложенной. В случае если доза формировалась за счет гамма-радиации, а дополнительное облучение осуществлялось X-лучами, то это приводит к значительному занижению реконструированной дозы по сравнению с приложенной. Если формирование дозы и дополнительное облучение осуществлялось от внешних источников электромагнитного излучения одинаковой энергии, то величина реконструированной дозы близка по значению к приложенной. Полученные данные указывают на то, что для адекватной реконструкции поглощенных доз по спектрам ЭПР эмали зубов необходимо, чтобы формирование доз в эмали зубов и дополнительное облучение препаратов эмали проводилось от внешних источников электромагнитного излучения одинаковой энергии [3, 6, 12, 13, 18].

3. Разработан протокол ЭПР дозиметрических исследований для реконструкции аварийных индивидуальных доз облучения. Использование протокола позволяет оценить вклад в кумулятивную дозу фонового и ультрафиолетового излучения, нижнего порога чувствительности метода, а также вклад механо-индуцированных компонент, что делает возможным не только адекватно и корректно оценить аварийную дозу, но и унифицировать метод реконструкции доз по спектрам ЭПР эмали зубов [3, 6, 7, 12, 13, 18].

4. Ретроспективное восстановление индивидуальных доз облучения согласно разработанному протоколу выявило, что наибольшие аварийные дозовые нагрузки среди пострадавшего населения Беларуси получили ликвидаторы аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года участия. При этом индивидуальные значения доз облучения ликвидаторов аварии 1986 и 1987 годов участия колебались в интервале

от 32,7 до 317,0 мГр (среднее значение дозы составляло $123,9 \pm 75,2$ мГр). Дифференцированная оценка дозовых нагрузок с учетом года участия в восстановительных работах выявила, что аварийные дозы у ликвидаторов 1986 года участия колебались от 38,5 до 317,0 мГр (средняя доза составляла $148,6 \pm 80,7$ мГр), а у ликвидаторов 1987 года дозы составили 32,7 – 95,6 мГр ($95,6 \pm 57,5$ мГр). Среднее значение индивидуальных поглощенных доз ликвидаторов аварии 1986 года участия была почти в 1,6 раз больше, чем у участников восстановительных работ, вовлеченных в ликвидацию аварии в 1987 году [3, 8, 11, 19]. Среди жителей пострадавших регионов самые большие аварийные дозы получили жители, проживающие не менее 10 лет с момента аварии на территориях с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs 555–1480 кБк·м⁻². Средние значения аварийных доз жителей территорий, затронутых Чернобыльской аварией, возрастили с увеличением уровня загрязненности почвы по ^{137}Cs . Так, индивидуальное среднее значение аварийной дозы облучения жителей, проживающих на территориях с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs 37 – 185 кБк·м⁻², составляло $68,5 \pm 47,7$ мГр (диапазон колебания доз от 31,4 до 190,3 мГр), с уровнем – 185 – 555 кБк·м⁻² – 85,5 ± 61,7 мГр (33,8 – 230,4 мГр) и с уровнем – 555 – 1480 кБк·м⁻² – 125,9 ± 74,5 мГр (35,9 – 281,9 мГр) [3, 9, 10, 11, 15, 19].

5. Разработана методика корректной оценки аварийных доз облучения населения Беларуси, подвергшегося радиационному воздействию в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, на основе метода ЭПР-дозиметрии. Для оценки аварийной дозы облучения \mathbf{D}_A проводилась коррекция индивидуальной дозовой нагрузки \mathbf{D}_{EPR} , рассчитанной с помощью программы, по формуле:

$$\mathbf{D}_A = \mathbf{D}_{\text{EPR}} - \mathbf{D}_B - \mathbf{D}_{\text{Th}} - \mathbf{D}_M - \mathbf{D}_{\text{UV}} - \mathbf{D}_R [3, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 19].$$

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Для реконструкции аварийной дозы облучения по спектрам ЭПР эмали зубов жителей Беларуси, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, необходимо осуществить ряд последовательных процедур: 1). После удаления зуба по медицинским показаниям необходимо очистить его от органических остатков, промыть под водой, удалить тонкий слой эмали с поверхности зуба, отделить корень от коронки и расколоть ее на щечную и язычную части, удалить пульпу. Полученные эмалевые пластины со щечной и язычной части зуба по отдельности измельчают на мелкие гранулы размером от 0,5 до 1,0 мм в поперечнике. Подготовленные зерна эмали обезжиривают, а затем высушивают. Пробы в пакетиках из кальки выдерживают сутки при температуре 40°C или не менее двух суток при комнатной температуре. 2). Регистрацию спектров ЭПР подготовленных образцов эмали щечной и язычной части зуба выполняют на ЭПР-спектрометре в X-диапазоне. 3). Дополнительное облучение осуществляют на дозиметрической

линейке с аттестованным источником гамма-излучения радионуклидов ^{60}Co суммарными дозами 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, и 4,0 Гр. После каждого дооблучения проводят повторную регистрацию спектров ЭПР. 4). Реконструкцию кумулятивных доз облучения проводят средствами компьютерной программы «Зубная эмаль-3». 5). Аварийную дозу облучения рассчитывают путем вычитания из значения кумулятивной ЭПР-дозы величины дозы, сформированной фоновым гамма облучением (10 мГр в год \times возраст индивидуума за вычетом 12 лет), и нижнего порога чувствительности метода (32 мГр).

Результаты диссертационного исследования были использованы при разработке утвержденной Министерством Здравоохранения Республики Беларусь инструкции по применению "Реконструкция индивидуальных поглощенных доз по спектрам электронно-парамагнитного резонанса эмали зубов с учетом вклада механо-индуцированных парамагнитных центров" [19]. Инструкция по применению внедрена в ГУ РНПЦ «Радиационная медицина и экология человека» (Приложение А диссертации). Практическое использование результатов диссертационной работы подтверждается актом о практическом использовании (Приложение Б диссертации).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь

1. Кириллов, В.А. Особенности формирования механоиндуцированных радикалов в эмали зубов / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, С.В. Толстик // Доклады НАН Беларуси. – 2000. – Т.44, № 5. – С. 76–79.
2. Кириллов, В.А. Оценка вклада механо-индуцированных парамагнитных центров в дозовую нагрузку, реконструированную по спектрам ЭПР эмали зубов / В.А. Кириллов, С.В. Толстик // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. – 2009. – № 1. – С. 23–27.
3. Кириллов, В.А. Ретроспективная реконструкция аварийных доз облучения населения Беларуси, пострадавшего в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, по спектрам ЭПР эмали зубов / В.А. Кириллов, С.В. Толстик // Экологический вестник. – 2013. – № 3. – С. 34–41.

Статьи в зарубежных научных журналах

4. Kirillov, V. Artefacts of electron paramagnetic resonance dosimetry caused by a mechanical effect on samples of tooth enamel / V. Kirillov, S. Dubovsky, S. Tolstik // Radiation Protection Dosimetry. – 2002. – Vol. 102. – P. 41–48.

5. Kirillov, V. Analysis of EPR tooth enamel spectra exposed to combined radiation and mechanical effects/ V. Kirillov, O. Shimanskaya, S. Tolstik // Radiation Measurements. – 2007. – Vol. 42. – P. 1185–1189.

6. An example of problems in dose reconstruction from doses formed by electromagnetic irradiation by different energy sources / V. Kirillov, J. Kuchuro, S. Tolstik, T. Leonova // Health Physics. – 2010. – Vol. 98. – P. 378–382.

Статьи в информационно-аналитических журналах

7. Реконструкция индивидуальных поглощенных доз внешнего гаммаизлучения по спектрам электронного парамагнитного резонанса эмали зубов / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, С.В. Толстик // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. – 2005. – № 2. – С. 3–14.

Материалы научных конференций

8. Расчет аварийных дозовых нагрузок по эмали зубов у ликвидаторов последствий катастрофы на ЧАЭС методом ЭПР-спектроскопии / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, С.В. Толстик // Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: состояние и перспективы : сб. науч. трудов II Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–27 апреля 2004 г. / Ком. по проблемам последствий катастрофы на Чернобыл. АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь, М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского, Э.К. Капитоновой. – Гомель, 2004. – С. 66–68.

9. Радиоэкологический мониторинг районов Гомельской области по эмали зубов методом ЭПР-дозиметрии / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, С.В. Толстик // Сахаровские чтения 2004 года: экологические проблемы XXI века : материалы 4-й междунар. науч. конф., Минск, 21–22 мая 2004 г. / Междунар. экол. ун-т им. А.Д. Сахарова ; под общ. ред. С.П. Кундаса, В.А. Чудакова. – С. 221–223.

10. Application of the method of EPR-dosimetry by tooth enamel for the monitoring of individual absorbed doses in normal and emergency situations on NPP location regions / V.A. Kirillov, S.V. Dubovsky, O.D. Shimanskaja, S.V. Tolstik // Unification and Optimization of Radiation Monitoring on NPP Location Regions : Proceedings International conference, Yerevan, 22–26 September, 2004. – P. 153–159.

11. Реконструкция индивидуальных поглощенных доз у населения Беларуси методом ЭПР-дозиметрии / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, С.В. Толстик // Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов : материалы Международ. конф., Минск, 19–21 апреля 2006 г. / Ком. по проблемам последствий катастрофы на Чернобыл. АЭС при совете Министров Респ. – Минск, 2006. – С. 300–304.

12. Кириллов, В.А. Восстановление по спектрам ЭПР зубной эмали дозовой нагрузки, формирующейся при рентгеновском облучении зубов / В.А. Кириллов, С.В. Толстик, И.И. Кучуро // Чернобыльские чтения–2008 : материалы междунар.

науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 апреля, 2008 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ» ; под общ. ред. А.В. Рожко. – С. 110–112.

13. Кириллов, В.А. Анализ спектров ЭПР эмали зубов, облученных X-лучами и гамма-радиацией / В.А. Кириллов, И.И. Кучуро, С.В. Толстик // Сахаровские чтения 2009 года: экологические проблемы XXI века : материалы 9-й междунар. науч. конф., Минск, 21–22 мая 2009 г. / Межд. гос. экол. ун-т им. А.Д. Сахарова ; под общ. ред. С.П. Кундаса, С.Б. Мельнова, С.С. Позняка. – С. 79–80.

Тезисы докладов

14. Кириллов, В.А. Изучение формирования механо-индуцированных парамагнитных центров в эмали зубов / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, С.В. Толстик // Актуальные проблемы дозиметрии : тезисы докладов междунар. симпозиума, Минск, 27–29 октября 1999 г. / Междунар. экол. ун-т им. А.Д. Сахарова ; под общ. ред. А.А. Милютина [и др.]. – Минск, 1999. – С. 79.

15. Применение метода ЭПР дозиметрии по эмали зубов для мониторинга индивидуальных поглощенных доз в нормальных и аварийных ситуациях на территориях, прилегающих к АЭС / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, С.В. Толстик // Unification and Optimization of Radiation Monitoring on NPP Location Regions : Abstracts International conference, Yerevan, 22–26 September, 2004. – Р. 75.

16. Вклад механо-индуцированных радикалов в дозовую нагрузку, реконструируемую по эмали зубов методом ЭПР / В.А. Кириллов, С.В. Толстик, С.В. Дубовский, О.Д. Шиманская, И.И. Кучуро // Актуальные проблемы дозиметрии : материалы 5-го междунар. симпозиума, Минск, 20–21 октября 2005 г. / Межд. гос. экол. ун-т им. А.Д. Сахарова ; под общ. ред. С.П. Кундаса, А.Е. Океанова, В.Е. Шевчука. – Минск, 2005. – С. 204–206.

17. Kirillov, V.A. Analysis of EPR tooth enamel spectra exposed to combined radiation and mechanical effects / V.A. Kirillov, O.D. Shimanskaja, S.V. Tolstik // The 2nd International Conference on Biodosimetry and 7th International Symposium on EPR Dosimetry and Applications, Bethesda, Maryland, 10–13 July 2006. – (Uniformed Services University of the Health Sciences (USUHS), 2006.) – P. D-6.

18. Kirillov, V. EPR dosimetry reconstruction of dose load formed in teeth by x-ray irradiation / V. Kirillov, J. Kuchuro, S.Tolstik // BioDose : Abstracts of the International Conference, Hanover , New Hampshire USA, 7–10 September 2008. – Р. B12.

Иные публикации

19. Реконструкция индивидуальных поглощенных доз по спектрам электронно-парамагнитного резонанса эмали зубов с учетом вклада механо-индуцированных парамагнитных центров: инструкция по применению : утв. 30.10.2013 г. № 144–1012 / В.А. Кириллов, С.В. Дубовский, С.В. Толстик ; УО БГМУ. – Минск, 2013. – 8 с.

РЭЗЮМЭ

Тоўсцік Сяргей Васільевіч

Рэканструкцыя аварыйных доз апраменювання па спектрах ЭПР рэзанансу эмалі зубоў у насельніцтва Беларусі, якое зазнала радыяцыйнае ўздзеянне ў выніку катастрофы на ЧАЭС

Ключавыя слова: ЭПР-дазіметрыя, эмаль зубоў, аварыйныя дозы апраменювання.

Мэта даследавання: Распрацоўка методыкі карэктнай ацэнкі аварыйных доз апраменювання на аснове метаду ЭПР-дазіметрыі эмалі зубоў.

Аб'екты і метады даследавання: рэканструкцыя аварыйных доз апраменювання праводзілася па спектрах ЭПР эмалі зубоў, выдаленых па стаматалагічным сведчаннях.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Ў эмалі зубоў быў выяўлены механа-індукаваны сігнал ЭПР, сфармаваны ў працэсе лячэння зубоў на высокачуткасных стаматалагічных ўстаноўках. Паказаны істотны ўклад механа-індукаваны кампаненты спектру ЭПР ў аварыйную дозу апрамянення. Распрацавана методыка і пратакол рэканструкцыі аварыйных доз апраменювання па спектрах ЭПР эмалі зубоў з улікам ўкладу ў дазіметрычны сігнал ўльтрафіялетавай кампаненты сонечнага святла, фонавага выпраменювання, механа-індукаванага ўздзеяння і парогавага значэння адчувальнасці метаду ЭПР-дазіметрыі эмалі зубоў. Выкарыстанне такой методыкі робіць магчымым адэкватна і карэктна ацаніць аварыйную дозу і уніфікаваць метад ЭПР-дазіметрыі. Рэтраспектыўнае аднаўленне індывідуальных доз апраменювання выявіла, што ў ліквідатораў аварыі на ЧАЭС 1986 гады ўдзелу сярэдняе значэнне аварыйных доз складала $148,6 \pm 80,7$ мГр (інтэрвал вагання $38,5 - 317,0$ мГр). У ліквідатораў 1987 гады ўдзелу сярэдняе значэнне аварыйных доз раўнялася $95,6 \pm 57,5$ мГр ($32,7 - 95,6$ мГр), г.зн. былі ў 1,6 разоў менш. Сярод насельніцтва найбольшыя дозы атрымалі жыхары, якія пражываюць не менш за 10 гадоў на тэрыторыях з узроўнем забруджанасці глебы па ^{137}Cs $555 - 1480$ кБк m^{-2} , у якіх сярэдняе дозы складае $125,9 \pm 74,5$ мГр ($35,9 - 281,9$ мГр). У жыхароў – з узроўнем контамиравання $185 - 555$ кБк m^{-2} – раўнялася $85,5 \pm 61,7$ мГр ($33,8 - 230,4$ мГр), пры ўзроўні ^{137}Cs $37 - 185$ кБк m^{-2} – $68,5 \pm 47,7$ мГр (ад $31,4$ да $190,3$ мГр).

Рэкамендацыі па выкарыстанні: матэрыялы дысертацыі ляглі ў аснову інструкцыі для ўжывання і былі ўкарененыя ў РНПЦ РМ і ЭЧ.

Вобласць ужывання: дазіметрыя, радыёбіялогія, радыяцыйная медыцина і экалогія.

РЕЗЮМЕ

Толстик Сергей Васильевич

Реконструкция аварийных доз облучения по спектрам ЭПР эмали зубов у населения Беларуси, подвергшегося радиационному воздействию в результате катастрофы на ЧАЭС

Ключевые слова: ЭПР-дозиметрия, эмаль зубов, аварийные дозы облучения.

Цель исследования: Разработка методики корректной оценки аварийных доз облучения на основе метода ЭПР-дозиметрии эмали зубов

Объекты и методы исследования: реконструкция аварийных доз облучения проводилась по спектрам ЭПР эмали зубов, удаленных по стоматологическим показаниям.

Полученные результаты и их новизна: В эмали зубов был выявлен механо-индуцированный сигнал ЭПР, сформированный в процессе лечения зубов на высокоскоростных стоматологических установках. Показан существенный вклад механо-индуцированной компоненты спектра ЭПР в аварийную дозу облучения. Разработана методика и протокол реконструкции аварийных доз облучения по спектрам ЭПР эмали зубов с учетом вклада в дозиметрический сигнал ультрафиолетовой компоненты солнечного света, фонового излучения, механо-индуцированного воздействия и порогового значения чувствительности метода ЭПР-дозиметрии эмали зубов. Использование такой методики делает возможным адекватно и корректно оценить аварийную дозу и унифицировать метод ЭПР-дозиметрии. Ретроспективное восстановление индивидуальных доз облучения выявило, что у ликвидаторов аварии на ЧАЭС 1986 года участия среднее значение аварийных доз составляло $148,6 \pm 80,7$ мГр (интервал колебания 38,5 – 317,0 мГр). У ликвидаторов 1987 года участия среднее значение аварийных доз равнялось $95,6 \pm 57,5$ мГр (32,7 – 95,6 мГр), т.е. были в 1,6 раз меньше. Среди населения наибольшие дозы получили жители, проживающие не менее 10 лет на территориях с уровнем загрязненности почвы по ^{137}Cs $555 - 1480$ кБк·м $^{-2}$, у которых средние дозы составили $125,9 \pm 74,5$ мГр (35,9 – 281,9 мГр). У жителей – с уровнем контаминации $185 - 555$ кБк·м $^{-2}$ – равнялось $85,5 \pm 61,7$ мГр (33,8 – 230,4 мГр), при уровне ^{137}Cs $37 - 185$ кБк·м $^{-2}$ – $68,5 \pm 47,7$ мГр (от 31,4 до 190,3 мГр).

Рекомендации по использованию: материалы диссертации легли в основу инструкции по применению и были внедрены в РНПЦ РМ и ЭЧ.

Область применения: дозиметрия, радиобиология, радиационная медицина и экология.

SUMMARY

Tolstik Sergey Vasilevich

Reconstruction of emergency doses of spectra EPR of tooth enamel from the population of Belarus exposed to radiation as a result of the catastrophe at the ChNPP

Keywords: EPR-dosimetry, tooth enamel, emergency dose.

Objective: Development of methodology for evaluating the correct emergency doses based on EPR-dosimetry of tooth enamel.

Objects and methods of study: Reconstruction of emergency doses held by the EPR-spectra of tooth enamel removed by dental indications.

Results and novelty. In the tooth enamel has been revealed mechanical-induced ESR-signal generated in the process of dental treatment on high-speed dental units. Showed essential contribution mechanical-induced components of the EPR spectrum in accidents dose. Developed a technique and protocol of reconstruction emergency doses of EPR-spectra of tooth enamel with considering of contributions to dosimetric signal ultraviolet component of sunlight, background radiation, mechano-induced effects and threshold sensitivity of EPR-dosimetry of tooth enamel. Using this technique makes it possible to adequately and correctly assess the emergency dose and standardize the method of EPR-dosimetry. A retrospective recovery of individual doses found that the liquidators of the Chernobyl accident 1986 participation the average value of emergency doses was 148.6 ± 80.7 mGy (range fluctuations 38.5 – 317.0 mGy). The liquidators 1987 participation get the average value of emergency doses equal 95.6 ± 57.5 mGy (32.7 – 95.6 mGy), i.e. was 1.6 times less. The population received the highest dose of the residents who live at least 10 years in the territories the level of contamination of soil ^{137}Cs 555 – 1480 kBq m^{-2} , whose the average doses totaled 125.9 ± 74.5 mGy (35.9 – 281.9 mGy). The inhabitants – of the level of contamination of 185 – 555 kBq m^{-2} – equal to 85.5 ± 61.7 mGy (33.8 – 230.4 mGy), at the level of ^{137}Cs 37 – 185 kBq m^{-2} – 68.5 ± 47.7 mGy (from 31.4 to 190.3 mGy).

Recommendations for use: the dissertation materials made the basis of the instructions for use and were introduced to the Republican Scientific and Practical Center for Radiation Medicine and Human Ecology.

Field of application: dosimetry, radiobiology, radiation medicine and ecology.