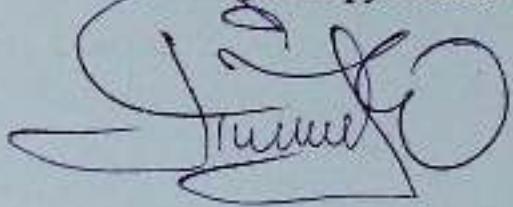


На правах рукописи



Тимофеев Юрий Сергеевич

**Гармонизация результатов ЭПР-дозиметрии зубной эмали
жителей прибрежных районов реки Теча**

05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях
(ядерный топливно-энергетический комплекс)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования
“Южно-Уральский государственный университет”
(национальный исследовательский университет)

Научный руководитель: кандидат биологических наук

Шишкина Елена Анатольевна.

Научный консультант: кандидат физико-математических наук, доцент

Залипин Владимир Ильич.

Официальные оппоненты:

Викторов Александр Александрович, доктор технических наук, кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник аналитического отдела Федерального казённого предприятия «Научно-исследовательский институт «Геодезия» (г. Красноармейск, Московская область;

Дёмин Владимир Фёдорович, кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Безопасность нанотехнологий и использования наноматериалов» Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г.Москва).

Ведущая организация: Федеральное Государственное унитарное предприятие «Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства (г. Озерск Челябинской обл.).

Защита диссертации состоится 25 января 2017 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 462.001.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства по адресу: 123182, г.Москва, ул.Живописная, д.46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и на сайте организации [http://fmbcfmba.ru/download/Диссертация \(Тимофеев Юрий\).pdf](http://fmbcfmba.ru/download/Диссертация%20(Тимофеев%20Юрий).pdf).

Автореферат разослан « » 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

Молоканов Андрей Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

С конца 19го века, когда В.К. Рентгеном было открыто рентгеновское излучение и выявлено его негативное влияние на здоровье, стала актуальна проблема радиационной безопасности человека. С открытием ядерной реакции и повсеместным ее использованием в науке и технике эта проблема становилась всё актуальнее. Развитие ядерной энергетики сопровождалось множеством инцидентов, в результате которых окружающая среда подверглась радиоактивным загрязнениям. Уникальным в мировой практике по масштабам санитарных последствий стал техногенный инцидент с санкционированными и аварийными сбросами радиоактивных отходов в реку Теча производственным объединением «Маяк» в течение 1949-1956 гг. За этот период в экосистему реки Теча попало порядка 76 млн м³ сточных радиоактивных вод, общей активностью по бета-излучению более 1017 Бк. В регионе сложилась чрезвычайная ситуация, в результате которой около 30000 жителей прибрежных территорий подверглись хроническому облучению. Оценка опасности хронического облучения и минимизация его последствий являются одними из актуальных проблем обеспечения радиационной безопасности. Поэтому изучение последствий радиационного загрязнения, включая отдаленные эффекты, является одним из важнейших направлений современной радиационной эпидемиологии.

Одной из ключевых задач исследований последствий радиоактивного загрязнения р. Теча является ретроспективная дозиметрия. Для оценок доз внешнего облучения сегодня используются расчетные методы (Дозиметрическая Система Реки Теча – TRDS, 2000). Валидация расчетных доз является важной задачей, которая может быть выполнена с помощью метода Электронного Парамагнитного Резонанса (ЭПР) на зубной эмали.

Электронно-парамагнитный резонанс в биодозиметрии – это физический метод, основанный на измерении стабильных радиационно-индуцированных

радикалов в твердых тканях (в основном в зубной эмали) человеческого тела. Метод ЭПР-дозиметрии зубной эмали начал активно использоваться в конце восьмидесятых годов прошлого века и его широкое распространение на сегодняшний день подтверждает его эффективность, особенно в качестве инструмента в ретроспективных исследованиях.

Дозы, получаемые с помощью ЭПР дозиметрии зубной эмали, содержат в себе фоновую составляющую, дозу от внутреннего облучения и дозу от внешнего антропогенного облучения. Под фоновой составляющей понимаем здесь дозу, образованную в результате фонового излучения (космические лучи, естественные радионуклиды, а также незначительное количество антропогенных радионуклидов от глобальных выпадений) на местности, которая не подверглась изучаемому антропогенному воздействию. В данной работе исследования фоновых доз проводились для сельских жителей Уральского региона, которые не проживали на прибрежных территориях р. Теча. Для валидации TRDS необходимо оценить дозу внешнего облучения, поэтому из дозы, полученной с помощью ЭПР дозиметрии необходимо вычесть дозу от внутреннего облучения и фоновую составляющую. В рамках данной работы проведены исследования и дана оценка только для фоновых доз

В настоящей работе исследуются результаты, полученные с помощью 12-ти различных ЭПР методик для жителей прибрежных территорий р. Теча. Измерения проводились с 1992 по 2013 гг, в течении которых ЭПР методики в лабораториях претерпевали изменения, совершенствуясь или ухудшаясь, например, из-за старения спектрометра. Существенные различия в этих методиках делают невозможным проведение совместного анализа полученных значений ЭПР доз без их предварительной гармонизации. Под гармонизацией в данной работе понимается оценка и коррекция систематических ошибок, соответствующих каждой из ЭПР методик.

Классический подход к оценке систематической погрешности, предполагающий сопоставление результатов измерений со стандартным

образцом оказался неприменим для ЭПР дозиметрии зубной эмали, поскольку эмаль зубов – это биологический образец, для которого не существует референтного (необлученного) образца и, который мог бы использоваться в качестве эталона. Для оценки систематических ошибок ЭПР дозиметрии потребовалось разработать оригинальный метод, предполагающий использование в качестве заменителя стандарта дозу в эмали, накопленную от радиационного фона. Сопоставление ЭПР измерений фоновых доз, полученных в результате измерения необлученных образцов, с “истинным” значением фона позволяет оценить систематическое смещение. Разработанный метод опирается на информацию о показателях качества ЭПР измерений для разных методик, таких как: критическая доза, предел детектирования и неопределенность измерения. Поскольку до настоящего времени не существовало общепринятой единой методики оценки названных показателей качества измерений, то потребовалось разработать единый алгоритм, применимый к различным ЭПР методикам.

Цели и задачи диссертационной работы

Целью данной работы является гармонизация измерений доз, полученных в ЭПР исследованиях эмали зубов у жителей прибрежной зоны реки Теча.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать единый алгоритм для определения показателей качества методик ЭПР дозиметрии: критическая доза, предел детектирования, неопределенность оценки дозы.
2. Реконструировать распределение фоновых доз в эмали зубов по экспериментальным данным, полученным в результате измерений необлученных образцов и оценить систематические погрешности ЭПР методик.
3. Гармонизировать данные измерений доз у жителей прибрежных районов реки Теча с помощью найденных систематических погрешностей.

Научная новизна

Разработан алгоритм для оценки показателей качества ЭПР методик при измерении доз в эмали зубов человека. Впервые применен статистический метод моментов для реконструкции фоновых доз из экспериментальных данных ЭПР измерений эмали зубов, близких к пределу детектирования. Впервые реконструировано распределение фоновых доз для сельских жителей Уральского региона. Впервые был проведен анализ гармонизированных данных ЭПР измерений сельских жителей прибрежных районов реки Теча.

Практическая значимость

Диссертационная работа носит прикладной характер. В диссертации предложен единый алгоритм для оценки показателей качества методики ЭПР дозиметрии, который был реализован в компьютерной программе (свидетельство о государственной регистрации №2014610805). Программа позволяет любой лаборатории оценивать показатели качества для своей ЭПР методики и отслеживать их изменение в процессе многолетней эксплуатации оборудования. Использование разработанной программы в разных лабораториях позволит сравнивать показатели качества, в используемых ими методиках. Найденные с помощью программы оценки были использованы для гармонизации дозиметрических данных, полученных разными ЭПР лабораториями в исследованиях на реке Теча.

Оценены параметры логнормального распределения фоновых доз, что позволило получить значение дозового порога (предела индивидуализации), ниже которого результаты измерений нельзя достоверно отличить от фоновых уровней. ЭПР дозы ниже предела индивидуализации принципиально нельзя использовать для определения индивидуальных техногенных доз.

Уточнены оценки систематических ошибок для 12ти различных методик ЭПР дозиметрии на зубной эмали. Полученные несмещенные оценки доз в эмали зубов жителей прибрежных районов реки Теча, которые будут использованы для валидации доз внешнего облучения, рассчитанных на основе дозиметрической системы реки Теча.

Методология и методы исследования

Для построения стохастической модели, имитирующей реальный ЭПР эксперимент, были исследованы данные межлабораторного эксперимента с помощью статистического анализа для выявления зависимостей между различными физическими величинами.

Задача по выделению фонового распределения доз из измерений необлученных образцов была решена с помощью статистического метода моментов при экспертном допущении о форме этого распределения и модели измерений. Система метода моментов для определения параметров фонового распределения была решена численно с использованием математического пакета «Mathematica».

Построенный единый алгоритм по определению показателей качества методики ЭПР дозиметрии был реализован с помощью метода Монте-Карло в компьютерной программе, разработанной в среде C++ Builder 6. Для генерации псевдослучайных чисел, необходимых для получения реализаций различных распределений, использовался алгоритм из встроенной в среду разработки библиотеки stdlib.h.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Единый алгоритм для определения показателей качества методик ЭПР дозиметрии, включая критическую дозу, предел детектирования, неопределенность оценки дозы. Для исследуемых ЭПР методик критические значения доз (DC) находят в диапазоне 48-233 мГр, пределы детектирования (LDD) – от 94 мГр до 635 мГр.
2. Реконструировано распределение фоновых доз из измерений, полученных в результате ЭПР эксперимента на необлученных образцах. При экспертном допущении о логнормальности распределения ($\text{LogN}[m, s]$) фоновых доз, оценены параметры этого распределения для сельских жителей Южного Урала: $m = 3.9$ и $s = 0.7$. Учитывая средний возраст донора, получена средняя фоновая доза – 1 мГр/год.

3. Создана программа ЭВМ по стохастической имитации ЭПР эксперимента, реализующая предложенный универсальный метод и позволяющая оценить показатели качества ЭПР методики и пределы индивидуализации (свидетельство о государственной регистрации №2014610805).
4. Гармонизированы данные доз в эмали зубов у жителей прибрежных районов реки Теча. Для сел, расположенных дальше 54 км по течению от места сброса отходов, среднее превышение фонового уровня облучения для сельских жителей Уральского региона составляет 65 мГр и попадает в 95% доверительный интервал для распределения фоновых доз.

Личный вклад соискателя

Разработка алгоритма для оценки показателей качества различных ЭПР методик, реализация разработанного алгоритма в программном комплексе для ЭВМ, оценка параметров фонового распределения доз для сельских жителей Уральского региона, оценка систематических ошибок для исследуемых ЭПР методик, гармонизация и анализ проведенных ими измерений на реке Теча.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на XVIII-ой конференции «Математика. Компьютер. Образование» (2009, 2011), международной конференции «Late Health Effects of Ionizing Radiation: Bridging the Experimental and Epidemiologic Divide» (2009), международной школе-конференции «Продвинутые методы компьютерного моделирования» для молодых ученых (2009), 41ой Всероссийской Молодежной школе-конференции «Проблемы теоретической и прикладной математики» (2010), IV международной конференции «Хроническое радиационное воздействие: эффекты малых доз» (2010), международной конференции EPRBiodose (2010, 2013), 56ой и 58ой ежегодной конференции «Health Physics Society» (2011, 2013), международной конференции «Experience in minimizing consequences of the 1957 accident» (2012).

Компьютерная программа, реализующая предложенный универсальный алгоритм по оценке показателей качества ЭПР метода, зарегистрирована в реестре программ для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. Программа была апробирована на данных межлабораторного эксперимента и внедрена исследовательские процессы, проводимые в Уральском научно-практическом центре радиационной медицины (ФГУБН УНПЦ РМ ФМБА России).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Полный ее объем составляет 114 страниц машинописного текста, включая 21 рисунок, 19 таблиц, библиографию, содержащую 100 наименований, приложение.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность и научная новизна работы, поставлена цель диссертационного исследования, приведены публикации по теме диссертации, описана структура работы и кратко изложено ее содержание. Также описана общая проблема последствий радиоактивного загрязнения, методика использования ЭПР как ретроспективного метода оценки доз, полученных в результате техногенных катастроф, и имеющиеся экспериментальные данные.

Первая глава посвящена обзору научной литературы и состоянию изучаемой проблемы. Рассматриваются крупные радиационные аварии и становление норм радиационной безопасности. Описывается радиационная ситуация, сложившаяся на реке Тече, и существующие подходы к оценке доз, полученных жителями прибрежных районов. Обосновывается важность ретроспективных исследований, в том числе, с помощью метода Электронно-Парамагнитного Резонанса (ЭПР). Дается описание метода ЭПР дозиметрии и обсуждаются проблемы объединения результатов измерений, полученных разными методами, в отсутствие метрологического стандарта. Рассмотрена

аналитическая модель (Wieser, 2008) неопределенности ЭПР измерений, на основе которой возможны оценки показателей качества методов ЭПР дозиметрии (критическая амплитуда/доза – AC/DC, предел детектирования амплитуды/дозы – LDA/LDD).

Во второй главе диссертации представлено описание материалов и методов. В основу работы по построению алгоритма для оценки показателей качества ЭПР методик легли экспериментальные данные, полученные при интеркалибровке трех ЭПР лабораторий: HMGU (Мюнхен, Германия), ISS (Рим, Италия) и IMP (Институт Физики Металлов, Екатеринбург, Россия). Каждая лаборатория, согласно собственному протоколу, подготовила однородную смесь из эмали зубов. Смесь в дальнейшем была разделена на 30 порций (по 95-110 мг каждая). Порции дооблучались согласно общей схеме, принятой в калибровочном эксперименте. Каждая порция трижды повторно измерялась методом ЭПР; результаты усреднялись и нормировались на массу. Для каждой дозы облучения было получено 5 значений интенсивности ЭПР отклика, полученных на основе трех повторных измерений. Затем лаборатории обменивались образцами и опять проводили измерения.

Таким образом, всего было получено 9 пулов экспериментальных данных, которые использовались для сравнения показателей качества ЭПР методов лабораторий и установления универсальной и стандартной процедуры для их оценки. Дополнительно к тем 30 образцам, которые готовились и измерялись каждой лабораторией, лаборатория IMP дополнительно подготовила и измерила 22 образца.

Для решения задачи по реконструкции фонового распределения доз были проанализированы ЭПР измерения зубов 167 доноров 1908-1968 годов рождения. На момент удаления зубов они проживали в селах, расположенных на территориях Южного Урала, не подвергавшихся радиоактивному загрязнению (помимо глобальных выпадений). Согласно опросникам, они никогда не проживали в загрязненных районах. В рамках настоящего

исследования доноры не группировались по национальному либо по половому признаку. Зубы удалялись по медицинским показаниям в сельских стоматологических клиниках в период с 1997 по 2008 годы. Возраст доноров на момент удаления зубов был от 37 до 93 лет, причем большинство возрастов (70%) принадлежали узкому интервалу от 50 до 70 лет. Средний возраст составил 62 года. Всего было исследовано 199 премоляров и моляров (некоторые доноры предоставили по нескольку зубов) и 135 резцов. Измерения проводились тремя лабораториями: ИФМ, НМГУ и ISS.

Сформулированы критерии, по которым можно судить о применимости аналитической модели к различным ЭПР методикам.

В главе 3 показано, что аналитическая модель (Wieser, 2008) неопределенности ЭПР дозиметрии не является универсальной и не может быть использована для оценки показателей качества любой методики ЭПР измерений эмали зубов. Для создания единого для разных методик алгоритма оценки неопределенности был проведен анализ экспериментальных данных построения калибровочных кривых.

Стохастическая модель калибровочного ЭПР эксперимента основана на моделировании амплитуды ЭПР сигнала (A) с помощью метода Монте-Карло с последующей ее калибровкой в значение дозы (D) с учетом погрешностей от различных источников. Положено, что ошибка измерения аддитивна относительно истинной амплитуды и нормально распределена. Тогда модель измерений описывается следующей формулой:

$$\hat{A} = N[A, \sigma(A)] \quad (1)$$

На основе анализа всех экспериментальных данных и поиска общих закономерностей распределения измерений между различными ЭПР методиками для каждой методики была установлена форма $\sigma(A)$.

В стохастической модели также учтены ошибки оценок калибровочной кривой ($\hat{A} = \alpha\hat{D} + \beta$), использующейся для оценки дозы \hat{D} по значению амплитуды ЭПР сигнала.

Окончательно получаем формулу для моделируемой дозы \hat{D} :

$$\hat{D} = \frac{\hat{A} - \xi_\beta}{\xi_\alpha} \quad (2)$$

Где ξ_α и ξ_β - разыгранные с учетом ошибки коэффициенты калибровочной кривой α и β .

Полученные уравнения по моделированию амплитуды ЭПР сигнала и калибровке ее в значение дозы позволяют оценить показатели качества ЭПР методики.

В заключение главы приводятся показатели качества (Таблица 1) и неопределенность оценки дозы для всех исследуемых ЭПР методик. Мы констатируем, что полученные данные хорошо согласуются с известными ранее оценками и делаем вывод, что предложенный подход к моделированию стохастического ЭПР эксперимента является универсальным.

Таблица 1 - Показатели качества ЭПР методик

ЭПР методика (приготовление/измерение)	AC, отн.ед.	LDA, отн.ед.	DC, мГр	LDD, мГр
IMP/IMP	35	102	190	448
IMP/ISS	25	52	91	257
IMP/GSF	85	253	221	635
ISS/IMP	68	140	233	479
ISS/ISS	16	30	55	118
ISS/GSF	40	80	97	205
GSF/IMP	29	59	102	231
GSF/ISS	22	45	77	155
GSF/GSF	19	37	48	94

В главе 4 решается задача реконструкции фонового распределения доз в популяции по измеренным необлученным образцам эмали зубов человека. В модели ЭПР измерений необлученных образцов использовались следующие предположения:

- распределение фоновых доз логнормально с неизвестными параметрами m и s ($D = LogN[m, s]$, D – измеряемое значение дозы);

- ошибка измерения имеет нормальное распределение с неизвестным средним C , которое зависит от ЭПР метода, и зависящего от дозы стандартного отклонения $g(D)$. Форма этой зависимости определяется экспериментатором на основе анализа данных с помощью программы «EPR-dosimetry performance».

Таким образом, окончательная модель измерений принимает вид:

$$\hat{D}^j = \text{LogN}[m, s] + N[C_j, g_j(D)] \quad (3)$$

Где $j = 1, 2, \dots, 6$ – номер ЭПР методики.

Неизвестные параметры m и s определяются с помощью статистического метода моментов.

В заключение главы отмечается, что параметры логнормального распределения фоновых доз сельских жителей Уральского региона – $m = 3.9; s = 0.7$ – соответствуют среднему значению дозы 61 ± 47 мГр. Найденное среднее значение фоновой дозы было использовано в качестве суррогата референтного образца для оценки систематических ошибок исследуемых ЭПР методик (согласно уравнению (3)).

Глава 5 посвящена гармонизации ЭПР измерений, проведенных на реке Теча различными методиками. С помощью, найденных в предыдущей главе, систематических ошибок, была проведена гармонизация данных. В данной работе под гармонизацией понимаем вычет систематической ошибки из результата измерений. Гармонизированные данные были объединены в общий пул, который был далее исследован.

На Рис. 1 представлено сопоставление результатов ЭПР измерений доз облучения эмали до и после гармонизации. Как видно из рисунка в среднем после гармонизации дозы понизились на 9%-45%. Исчез ничем не оправданный дозовый пик в области Муслюмово и Курманово (78-88 км).

Сравним гармонизированные данные с фоновым уровнем в 61 мГр, который был оценен в предыдущей главе (Рис. 2). Как видно из рисунка, для сел, расположенных дальше 110 км по течению от места сброса радиоактивных отходов, среднее превышение фонового уровня облучения для сельских жителей Уральского региона составляет 65 мГр и попадает в 95% доверительный интервал для распределения фоновых доз.

Техногенные дозы, достоверно отличающиеся от фоновых уровняй, были зафиксированы только у 23% всех жителей прибрежных районов реки Теча. Для сел Метлино и Надырово, где наблюдались наиболее высокие дозы, этот показатель превышает средний уровень и равен 35% и 60% соответственно. Максимальные индивидуальные дозы также зафиксированы в селах Муслюмово и Надырово: 2.7 Гр и 2.6 Гр соответственно. Высокие дозы, полученные жителями сел Метлино и Надырово, обусловлены тем, что села

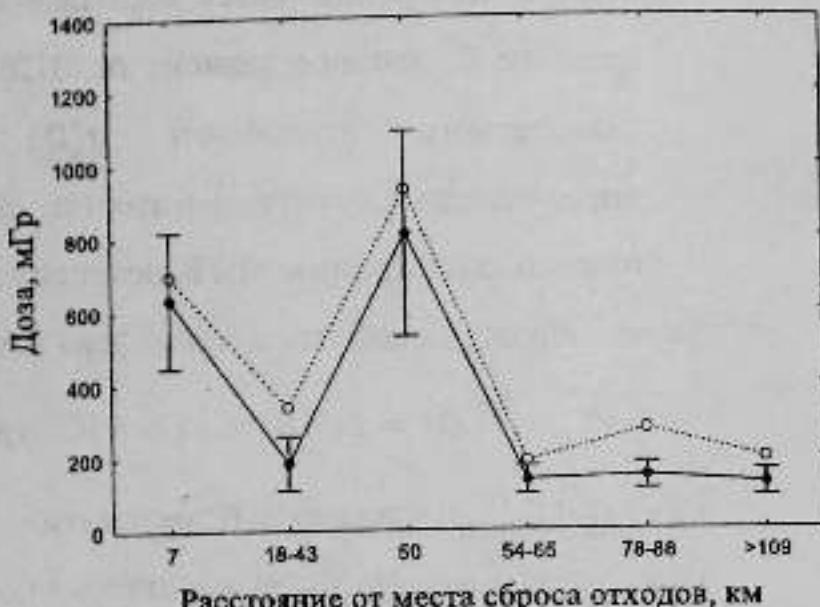


Рис. 1. Сравнение гармонизированных (сплошная линия, усы – стандартная ошибка) и измеренных (прерывистая линия) доз.

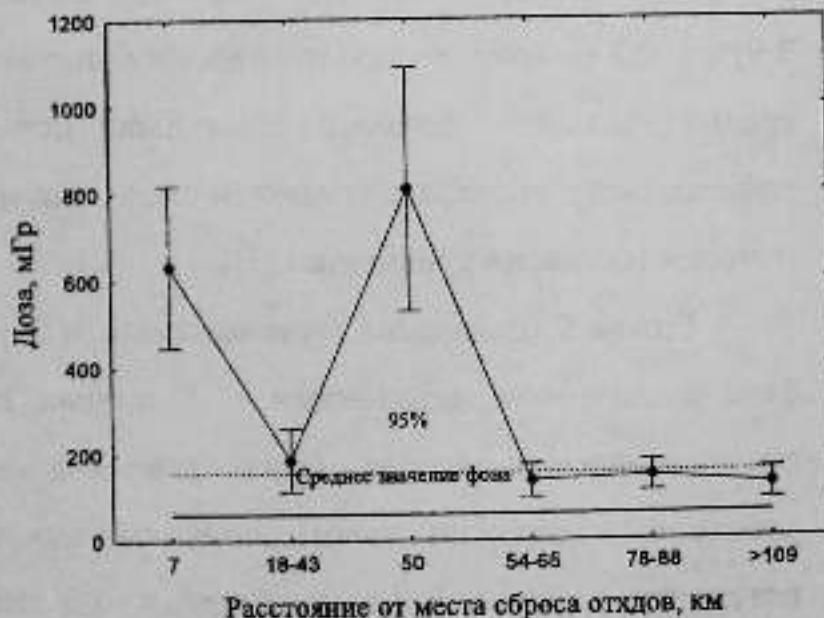


Рис. 2. Сравнение гармонизированных данных измерений доз у жителей прибрежных районов реки Теча с фоновым уровнем облучения для сельских жителей Уральского региона.

частично расположены на непроточных участках речной системы с заболоченной поймой, которая из-за повышенной сорбции и слабого вымывания радионуклидов накапливала радионуклиды (главным образом ^{137}Cs).

Таким образом, были получены оценки техногенных доз в эмали зубов жителей прибрежных территорий р. Теча. Следует отметить, что накопленная техногенная доза в эмали сформирована как внешним облучением (главным образом за счет ^{137}Cs в окружающей среде), так и внутренним облучением (главным образом за счет остеотропного ^{90}Sr). ЭПР-дозиметрия эмали зубов используется для измерения доз внешнего облучения. Поэтому полученные результаты в дальнейшем будут использоваться для расчета доз внешнего облучения путем вычитания вклада внутренней компоненты.

ВЫВОДЫ

1. Разработан универсальный алгоритм для оценки показателей качества ЭПР методик.

2. Показатели качества: критические значения амплитуд ЭПР сигнала (AC) находятся в интервале 16-85 отн.ед., а пределы детектирования (LDA) – 30-253 отн.ед. Критические значения доз (DC) – 48-233 мГр, и пределы детектирования (LDD) – в интервале от 94 мГр до 635 мГр для методик GSF/GSF и IMP/GSF соответственно.

3. Предложенная универсальная схема по оценке показателей качества ЭПР методик была реализована в компьютерном программном комплексе (свидетельство о государственной регистрации №2014610805 от 17.01.2014).

4. Предложен метод по оценке параметров фонового распределения доз для жителей Уральского региона.

5. Установлено, что средняя фоновая доза, накопленная жителями, равна 61 мГр, что дает оценку среднегодового фонового облучения на уровне 1 мГр/год, что хорошо согласуется с известными ранее оценками.

6. Найдены оценки систематических ошибок различных ЭПР методик, которые находятся в диапазоне от 64 мГр до 136 мГр.

7. Пределы индивидуализации могут находиться в достаточно широком диапазоне: от 185 мГр до 744 мГр.

8. Проведена гармонизация данных, полученных в результате исследований на реке Теча, и установлено, что для сел, расположенных дальше 110 км по течению от места сброса отходов, среднее превышение фонового уровня для этого региона составляет 65 мГр и попадает в 95% доверительный интервал для распределения фоновых доз.

9. Превышение пределов индивидуализации было зафиксировано для 23% жителей всех прибрежных населенных пунктов, но для сел Метлино и Надырово этот показатель превышает средний уровень и равен 35% и 60% соответственно.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тимофеев, Ю.С. Оценивание неопределенности физических измерений методом Монте-Карло. Анализ данных ЭПР-дозиметрии. / Ю.С. Тимофеев, Е.А. Шишкина, В.И. Залягин// Тезисы к XVI-ой конференции «Математика. Компьютер. Образование». – Пущино: Издательство: R&C Dynamics, 2009. – В.16. – Ч.1. – С.190.
2. Тимофеев, Ю.С. Исследование универсальности полузэмпирического подхода к оценке неопределенности ЭПР-дозиметрии зубной эмали /Ю.С. Тимофеев, Е.А. Шишкина, Д.В. Иванов и др./// Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». - 2010. - №16 (192). – В. 5. - С.94-106.
3. A method-independent algorithm to evaluate the performance parameters of EPR tooth dosimetry /Y.S.Timofeev, E.A.Shishkina, D.Ivanov et al// In: EPRBioDose 2010 International Conference. Programme and Abstract Book (October 10-14, 2010, Mandelieu-La-Napoule, France). – P.127.
4. Harmonization of dosimetric information obtained by different EPR methods: experience of Techa River study/A. Volchkova, E.A. Shishkina, D. Ivanov, Y.S. Timofeev et al// In: EPRBioDose 2010 International Conference.

- Programme and Abstract Book (October 10-14, 2010, Mandelieu-La-Napoule, France). – P.135.
5. Analysis of the EPR dosimetry method performance in long-term epidemiological study: experience at IMP /D.V. Ivanov, E.A. Shishkina, A. Volchkova, Y.S. Timofeev et al./ In: EPRBioDose 2010 International Conference. Programme and Abstract Book (October 10-14, 2010, Mandelieu-La-Napoule, France). – P.134.
6. Улучшение статистической модели оценки неопределенностей в ЭПР дозиметрии на эмали зубов/ Ю.С. Тимофеев, Е.А. Шишкина, Д.В. Иванов и др./ Тезисы докладов IV международной конференции “Хроническое радиационное воздействие: эффекты малых доз” (Ноябрь 9-11, 2010, Челябинск, Россия). – С.104.
7. Volchkova, A.Y. Harmonization of dosimetric information obtained by different EPR methods: Experience of the Techa river study./ A.Y. Volchkova, E.A. Shishkina, D.V. Ivanov, Y.S. Timofeev et al. // Radiation Measurements. – 2011. - V.46. P.801-807.
8. Иванов, Д.В. Изменение дозиметрических возможностей метода ЭПР на зубной эмали в процессе многолетней эксплуатации оборудования Института Физики Металлов./ Д.В. Иванов, Е.А. Шишкина, А.Ю. Волчкова, Ю.С. Тимофеев //АНРИ. ISSN 2075-1338. – 2011. - №3. – В.66. – С.65-71.
9. Тимофеев, Ю.С. О статистической оценке неопределенностей ЭПР-дозиметрии /Ю.С. Тимофеев, Е.А. Шишкина// Тезисы XVIII-ой конференции «Математика. Компьютер. Образование». – Пушкино: Издательство: R&C Dynamics, 2011. – В.18. – Ч.1. – С.176.
- 10.The experience of EPR dosimetry measurements for Southern Urals population /D.V. Ivanov, E.A. Shishkina, A.Y. Volchkova, Y.S. Timofeev, M.O. Degteva// In: Experience in minimizing consequences of the 1957 accident. Materials of the International Conference (October 2-3, 2012, Chelyabinsk). - P.20.
- 11.Influence of EPR spectrometer obsolescence on the performances of tooth enamel dosimetry / P. Fattibene, D. Ivanov, Y.S. Timofeev Y.S. et al./ In: Programme and abstract book. The Joint International Symposium on EPR Dosimetry and Dating and the International Conference on Biological Dosimetry (24-28 March 2013, Leiden – The Netherlands). - P.186.
- 12.Distribution of cumulative doses in the enamel of rural population of Ural region: reconstruction from EPR measurements/ Y.S. Timofeev, P. Fattibene, A. Wieser

- et al./In: EPRBioDose 2013 International Conference. Programme and Abstract Book (March 24-28, 2013, Leiden, Netherlands). - P.49.
13. Evaluation of systematic errors of EPR tooth dosimetry using different methods in the absence of a metrological standard / E.A. Shishkina, Y.S. Timofeev, A.Y. Volchkova et al./Health Physics. V. 105 - Supplement 1, Abstracts of Papers Presented at the Fifty-Eighth Annual Meeting of the Health Physics Society Madison (Wisconsin, 7-11 July, 2013). - P.63.
14. Шишкина Е.А. Электронный ресурс «Программный модуль “EPR-dosimetry performance”»/Е.А. Шишкина, Ю.С. Тимофеев – «ФГБУН УНПЦ РМ ФМБА России» №2014610805 от 17.01.2014. – Режим доступа: <http://www.urgm.ru/general-info/org-structure/biophys-lab/epr-dosimetry-performance>.
15. Заляпин, В.И. Статистическая реконструкция распределения фоновых доз облучения по результатам ЭПР измерений/ В.И. Заляпин, Ю.С. Тимофеев, Е.А. Шишкина //Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2014. – Т.6. - № 1. – С.22-27.
16. Shishkina, E.A. Software for evaluation of EPR-dosimetry performance/ E.A. Shishkina, Y.S. Timofeev, D.V. Ivanov//Radiation Protection Dosimetry. – 2014. – V.159. – I.1-4. – P.188-193.
17. Тимофеев, Ю.С. Сравнение бутстррап и аналитических оценок погрешностей параметров фонового распределения жителей Уральского региона/ Ю.С. Тимофеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». - 2015. - Т.7. - №.1. - С.28-31.
18. Statistical reconstruction of radiation background doses of rural residents of the Urals based on EPR dosimetry of tooth enamel./E.A. Shishkina, Y.S. Timofeev, V.I. Zalyapin// Meeting in St.Petersburg: Fourth International Conference, Dedicated to N. W. Timofeeff-Ressovsky and His Scientific School «Modern Problems of Genetics, Radiobiology, Radioecology and Evolution»; Abstracts, Papers by Young Scientists. (June 2-6, 2015; St. Petersburg, Russia).
19. Dose reconstruction in tooth enamel of Techa riverside residents./ E.A. Shishkina, A.Y. Volchkova, Y.S. Timofeev et al// In: Programme and abstract book. In: EPRBioDose 2015 International Conference. Programme and Abstract Book (4-8 October 2015, Hanover, New Hampshire USA). - P.186.

Подписано в печать 27.10.16 г. Формат 60×90 ^{1/16}. Гарнитура Times New Roman.

Бумага офсетная. Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Активист»

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 74Б