

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра

Д.Л. Пиневиц



29 \_\_\_\_\_ 2013 г.

Регистрационный номер *115-1013*

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ  
ПО СПЕКТРАМ ЭЛЕКТРОННО-ПАРАМАГНИТНОГО  
РЕЗОНАНСА ЭМАЛИ ЗУБОВ С УЧЕТОМ ВКЛАДА  
МЕХАНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ**

инструкция по применению

УЧРЕЖДЕНИЕ-РАЗРАБОТЧИК: УО “Белорусский государственный  
медицинский университет”

АВТОРЫ: доктор биол. наук В. А. Кириллов, канд. тех. наук С.В. Дубов-  
ский, С.В. Толстик

Минск, 2013

Прогноз последствий аварии и выявление группы риска невозможны без знания индивидуальных поглощенных доз. Спустя более 25 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС единственным инструментальным методом оценки индивидуальных поглощенных доз является метод ЭПР (электронно-парамагнитного резонанса) дозиметрии эмали зубов. Суть метода заключается в том, что в эмали зубов под действием радиации образуются стабильные долгоживущие радикалы, количество которых находится в линейной зависимости от дозы облучения в интервале 0-30 Гр. Это позволяет использовать эмаль зубов в качестве природного дозиметра. Информация о накопленной дозе в таком дозиметре считывается по спектрам ЭПР эмали зубов.

Основными компонентами спектра ЭПР эмали зубов являются нативный и радиационно-индуцированный сигналы. В ЭПР дозиметрии используют удаленные по стоматологическим показаниям зубы, лечение которых проводилось высокоскоростными бормашинами. Механическое воздействие при обработке зубов стоматологическими борами с высокими оборотами вращения вызывает формирование парамагнитных центров в эмали зубов. Поскольку механо-индуцированный сигнал находится в одной спектральной области с радиационно-индуцированным сигналом, их суперпозиция приводит к увеличению амплитуды дозиметрического сигнала и, как следствие, завышению дозы реконструируемой по спектрам ЭПР эмали зубов.

### **Показания к применению**

Метод используется для оценки аварийных доз облучения населения, пострадавшего в результате аварии на ЧАЭС.

### **Объект исследования**

Объектом исследования служит эмаль зубов, удаленных по стоматологическим показаниям у населения пострадавшего в результате аварии.

## Перечень необходимого оборудования

Для реконструкции индивидуальных поглощенных доз необходимы ЭПР-спектрометр, работающий в X-диапазоне, и компьютерная программа для математической обработки спектров ЭПР эмали зубов (прилагается к настоящей инструкции по применению).

### Описание технологии использования метода

Этап 1. *Сбор зубов у населения, пострадавшего в результате аварии на Чернобыльской АЭС.* Сбор зубов, удаленных по стоматологическим показаниям, осуществляют в стоматологических кабинетах клиник и поликлиник.

Этап 2. *Препарирование эмали.* Отделение эмали от дентина осуществляют обработкой зубов твердосплавными стоматологическими борами различной величины и формы под струей холодной воды на низких оборотах вращения боров  $\leq 30\ 000$  об/мин. Полученные большие куски эмали измельчают в агатовой ступке на гранулы размером 0,5–1 мм.

Этап 3. *Регистрация спектров ЭПР.* При измерении спектров на ЭПР-спектрометре в X-диапазоне с применением резонатора 4102 ST используются следующие характеристики: 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 накопленных спектров – 100, температура комнатная.

Этап 4. *Дополнительное облучение образцов эмали.* Дополнительное пятикратное облучение образцов эмали зубов суммарными дозами 0,25, 0,50, 1,00, 2,00, и 4,00 Гр проводят через плексиглас толщиной 5 мм от образцового источника  $^{60}\text{Co}$  или  $^{137}\text{Cs}$ . После каждого облучения образец выдерживают в суховоздушном термостате при  $50^\circ\text{C}$  в течение суток. После каждого облучения процедура регистрации спектров ЭПР образцов повторяется.



## Этап 5. Реконструкция доз облучения по спектрам ЭПР эмали зубов.

а) *Метод добавленных доз.* Математической обработке подвергаются одновременно 6 спектров: исходный и спектры дополнительно облученных образцов. После открытия компьютерной программы «Зубная эмаль-3» (программа зарегистрирована 17.09.2013 г. в РНПЦ медицинских технологий; инвентарный № 000250) в верхнем левом углу главного окна выбирают пункт меню “File” (рис. 1). При этом появляется подменю, в котором активизирована функция “Open” (рис.2).

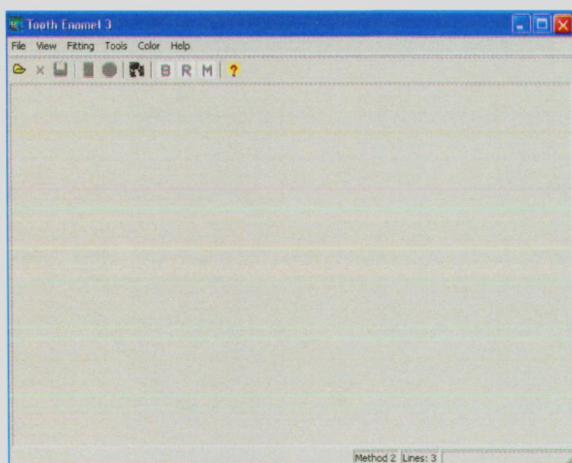


Рис. 1. Главное диалоговое окно компьютерной программы «Зубная эмаль-3»

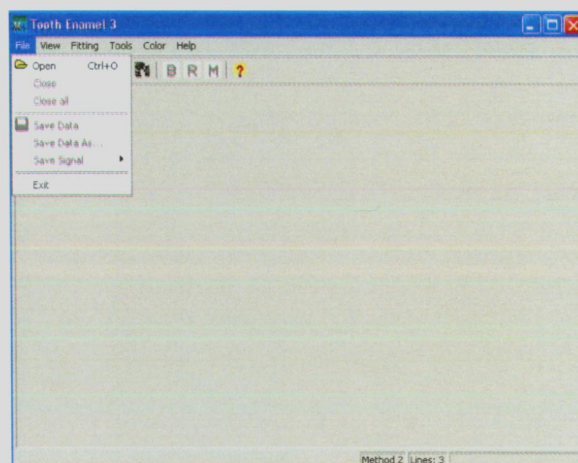


Рис. 2. Доступные пункты меню “File”

После выбора функции “Open” появляется список файлов спектров ЭПР, название которых имеет восьмизначную кодировку (рис. 3). В этом списке исходный спектр носит имя, например, V182\_000, а дополнительно облученные образцы – V182\_025, V182\_050, V182\_100, V182\_200 и V182\_400 (где V182 – порядковый номер образца, а 000, 025, 050, 100, 200 и 400 – величина приложенной дозы облучения 0, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 мГр соответственно). При нажатии кнопки “Открыть” в нижнем правом углу панели загружается строка выбора текущего спектра ЭПР. Каждый из 6 спектров данного образца можно вызвать в окно просмотра, нажав соответствующую цифру 1, 2, 3, 4, 5 или 6 в верхнем левом углу панели (рис. 4).

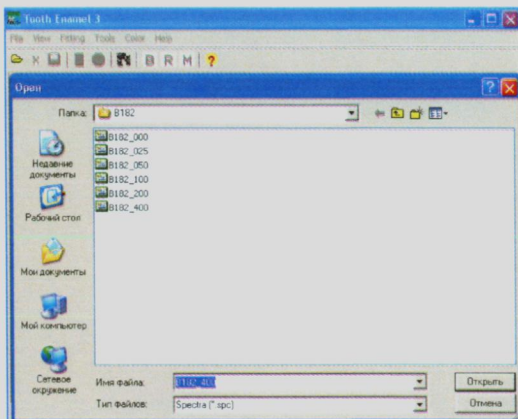


Рис. 3. Диалоговое окно со списком файлов спектров ЭПР

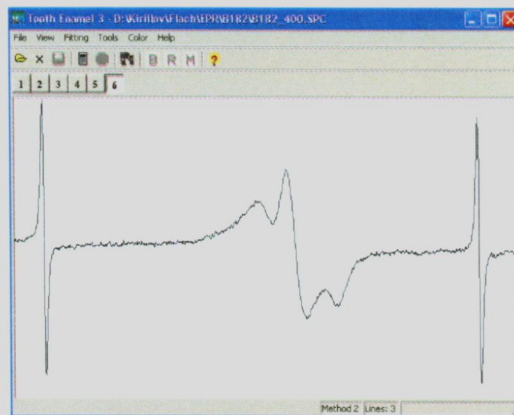


Рис. 4. В окне просмотра виден спектр ЭПР образца под номером 6, облученного приложенной дозой 4000 мГр

При выборе пункта главного меню “Fitting” в верхнем левом углу панели открывается подменю, в котором выбираются команды “Method2” и “Three Lines” (рис. 5). При выборе команды “Run” запускается программа для автоматической деконволюции (разложения) спектра ЭПР на составляющие его компоненты: нативный, радиационно-индуцированный и механо-индуцированный сигналы. Результатом математической обработки спектров ЭПР является определение интенсивности дозиметрических сигналов (рис. 6). Информация об их амплитуде считывается с информационной панели в правой стороне главного окна.

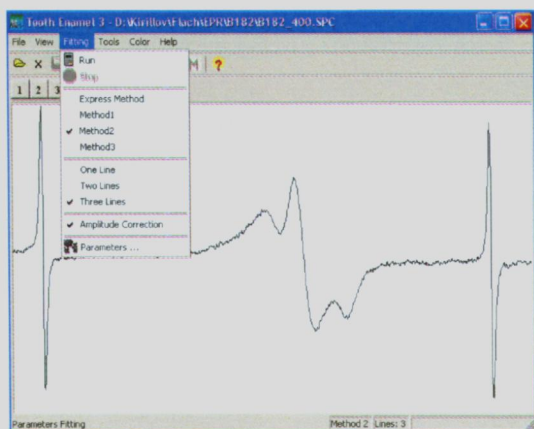


Рис. 5. Команды “Method2” и “Three Lines” меню “Fitting”

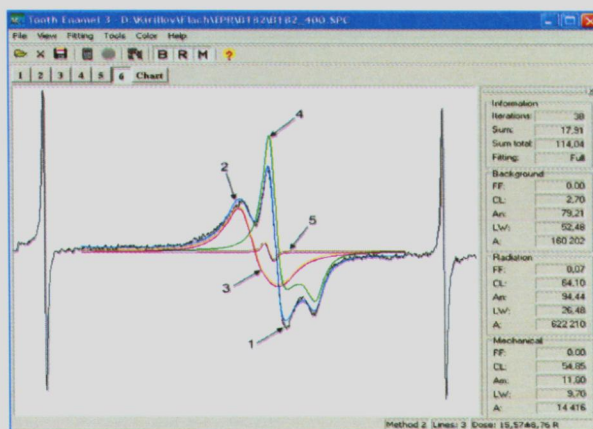


Рис. 6. Деконволюция спектра ЭПР.  
1 – экспериментальный спектр; 2 – модельный спектр; 3 – нативный сигнал; 4 – дозиметрический сигнал; 5 – механо-индуцированный сигнал



Расчет индивидуальной поглощенной дозы осуществляют методом обратной экстраполяции. Для этого строится диаграмма рассеяния зависимости амплитуды дозиметрического сигнала от дозы дополнительного облучения. После чего находится регрессионная зависимость первого порядка к совокупности этих экспериментальных точек (калибровочная прямая). Для просмотра результатов вычисления в строке выбора текущего спектра становится доступна кнопка “Chart”. Абсолютное значение координаты X в точке пересечения этой прямой с осью абсцисс является величиной индивидуальной поглощенной дозы, реконструированной по данному образцу зубной эмали (рис. 7). Величина индивидуальной дозовой нагрузки считывалась в правом нижнем углу строки состояния главного окна. Все процедуры расчета осуществляются в автоматическом режиме.

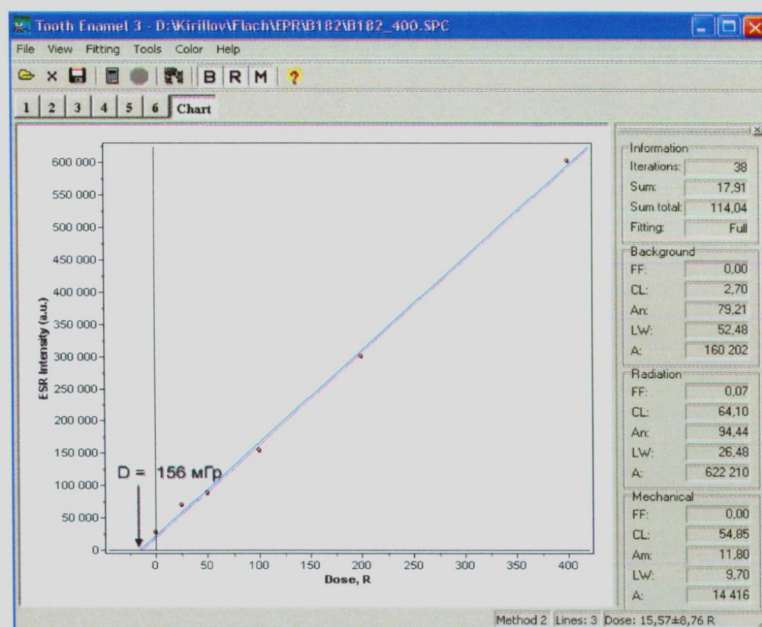


Рис. 7. Калибровочная прямая и индивидуальная поглощенная доза

б) *Экспресс-метод*. При использовании этого метода реконструкция индивидуальной накопленной дозы осуществляется по исходному спектру ЭПР. При этом в соответствующих диалоговых окнах компьютерной программы (рис. 8) устанавливают усредненные параметры формы линий на-

тивного, радиационно-индуцированного и механо-индуцированного сигналов, а также вводят значения среднего коэффициента регрессии и общих параметров расчета модельного спектра (число итераций, номера каналов для регистрации спектров и степень полинома, описывающего кривые). Все эти параметры рассчитывали по усредненным спектрам ЭПР 40 образцов эмали зубов жителей Беларуси.

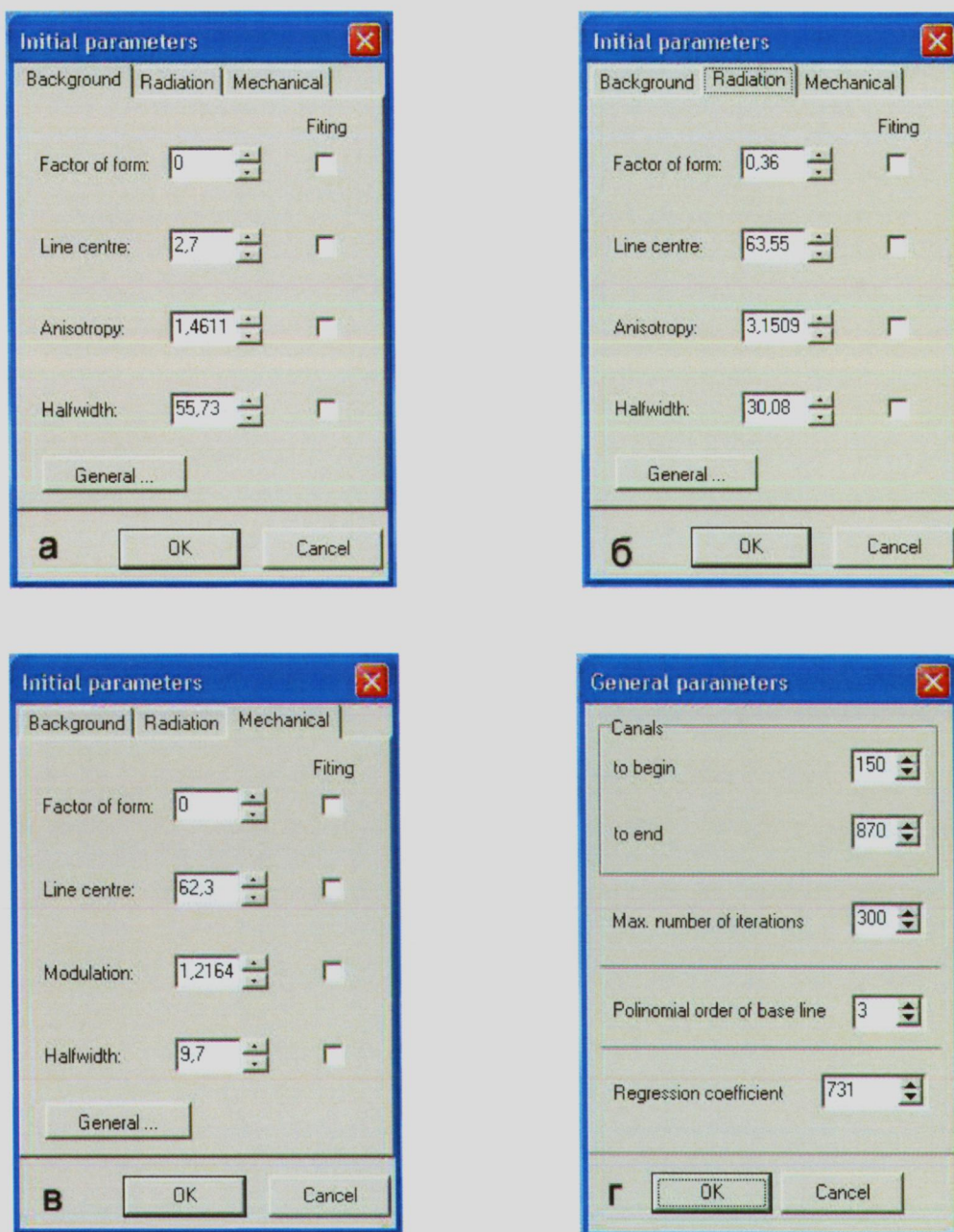


Рис. 8. Диалоговые окна для ввода усредненных по 40 спектрам ЭПР параметров нативного (а), радиационно-индуцированного (б), механо-индуцированного (в) сигналов и усредненного коэффициента регрессии (г)



После загрузки исходного спектра исследуемого образца (рис. 9) вызывается пункт главного меню “Fitting”. После открытия подменю, в котором активируются команды “Express method” и “Three lines”, с помощью команды “Run” запускается программа (рис. 10). При этом в автоматическом режиме определяется интенсивность дозиметрической компоненты исходного спектра ЭПР и с учетом коэффициента регрессии восстанавливается индивидуальная накопленная доза облучения индивидуума (рис. 11).

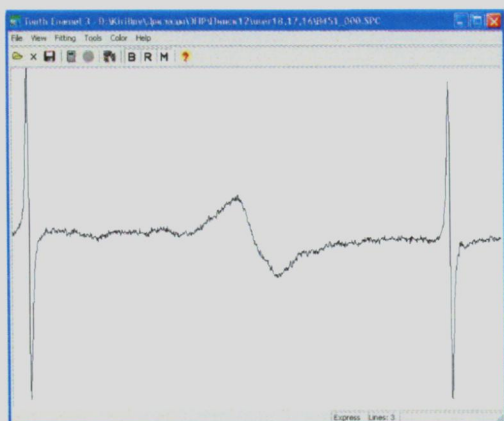


Рис. 9. Окно просмотра с исходным спектром ЭПР исследуемого образца

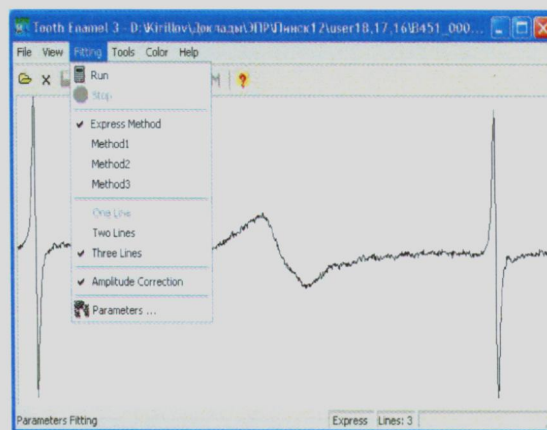


Рис. 10. Команды “Express method” и “Three lines” меню “Fitting”

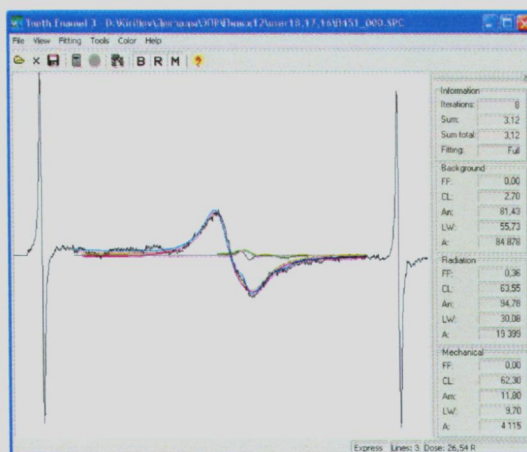


Рис. 11. Окно просмотра после автоматической обработки исходного спектра ЭПР исследуемого образца.

Значение реконструированной накопленной дозы облучения считывают в строке состояния главного окна компьютерной программы «Зубная эмаль-3».



Возможные ошибки при реконструкции аварийных доз облучения по спектрам электронного парамагнитного резонанса эмали зубов могут быть обусловлены наличием в эмали парамагнитных центров, индуцированных диагностическим рентгеновским обследованием зубочелюстной системы. Такая медицинская процедура приводит к завышению индивидуальной поглощенной дозы, сформированной за счет внешней гамма радиации. Устранение этой ошибки осуществляется согласно методу, изложенному в инструкции по применению «Оценка с помощью ЭПР-дозиметрии вклада X-лучей, используемых при диагностическом обследовании зубочелюстной системы человека, в суммарную дозу при сочетанном с внешней гамма радиацией воздействии на эмаль зубов», утвержденной МЗ Республики Беларусь 05. 03. 2009 г., регистрационный номер 126-1108.

Противопоказаний к применению метода нет.