

УДК 549.903 : 538.955 : 539.219.3

**В. В. Радчук, А. Б. Брик, А. П. Клименко, О. И. Щербина, Н. Л. Антошук**

## **Анизотропия сигналов ЭПР в биогенном апатите и проблемы ретроспективной дозиметрии**

Разработаны методики определения степени текстурирования эмали зубов с помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В качестве парамагнитного зонда использованы радикалы  $\text{CO}_2^-$ , пространственная ориентация которых связана с ориентацией нанокристаллов гидроксиапатита, формирующих минеральную компоненту эмали. Показано, что при вращении пластинок эмали в магнитном поле форма сигналов ЭПР, обусловленных радикалами  $\text{CO}_2^-$ , существенно изменяется. Введены понятия коэффициентов анизотропии, которые характеризуют степень упорядоченности нанокристаллов гидроксиапатита в эмали зубов. Эти коэффициенты могут быть определены экспериментально по соотношению интенсивностей сигналов ЭПР, соответствующих разным компонентам тензора спектроскопического расщепления. Показано, что при заболеваниях зубов кариесом степень текстурирования эмали и, соответственно, анизотропия сигналов ЭПР уменьшаются. Установлено, что процессы, протекающие при кариесе, ведут к изменению зарядового состояния парамагнитных  $\text{CO}_2^-$  радикалов, что существенно влияет на результаты ретроспективной дозиметрии. С помощью ЭПР проведена реконструкция дозовых нагрузок для нескольких образцов эмали зубов, которые в разной степени были поражены кариесом. Проанализировано влияние кариеса на достоверность результатов, связанных с реконструкцией доз. Показано, что введенные нами коэффициенты анизотропии позволяют определять пригодность эмали зубов для ее использования в ретроспективной дозиметрии.

### **1. Введение**

Известно, что минеральная компонента эмали зубов представлена в основном нанокристаллами гидроксиапатита, которые погружены в органическую матрицу [1, 5, 9]. Хотя минеральная компонента составляет примерно 96 % веса эмали, свойства нанокристаллов определяются в основном органической матрицей. Эмаль зубов можно рассматривать как единую минерально-органическую нано-ассоциированную систему [7]. В этой системе благодаря фибриллярным свойствам органической матрицы ориентация нанокристаллов гидроксиапатита является не хаотической. Соответственно, эмаль представляет собой текстурированную биологическую ткань. Хотя текстурирование эмали может быть зафиксировано разными методами, количественные методы определения степени текстурирования эмали в настоящее время не разработаны. Кроме того, влияние различных внешних и внутренних факторов (в частности, заболевания зубов кариесом) на текстурирование эмали тоже не изучены.

Эмаль зубов, как известно, широко используется для реконструкции дозовых нагрузок, которые человек получил в прошлом [2, 3, 10–13]. Работы по ретроспективной дозиметрии были стимулированы атомными бомбардировками Хиросимы и Нагасаки, а также аварией на Чернобыльской атомной электростанции. В настоящее время интерес к ретроспективной дозиметрии обусловлен возрастающей ролью атомных электростанций в производстве электроэнергии, широким применением радиоактивных изотопов в науке и технике, а также возможными террористическими актами с использованием радионуклидов. Несмотря на большое количество проведенных исследований, многие вопросы ретроспективной дозиметрии человека остаются изученными недостаточно [6, 8, 10], что снижает достоверность результатов, связанных с реконструкцией доз.

В ретроспективной дозиметрии эмали зубов реконструкцию дозовых нагрузок проводят с помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [4, 10]. При этом методом ЭПР определяют количество  $\text{CO}_2^-$  радикалов, которые продуцируются в эмали радиационным облучением. В ЭПР дозиметрии, как правило, предполагают, что радиа-

ционно-индуцированные  $\text{CO}_2^-$  радикалы в эмали зубов являются стабильными и, соответственно, считают, что интенсивность сигналов ЭПР в исследуемых образцах пропорциональна дозе облучения. Однако предположение о стабильности  $\text{CO}_2^-$  радикалов не всегда является верным. В частности, при заболеваниях зубов кариесом радикалы  $\text{CO}_2^-$  могут переходить в непарамагнитное состояние, что существенно влияет на реконструкцию доз. Соответственно, возникает необходимость разработки методик, которые позволили бы объективно определять пригодность эмали для целей ретроспективной дозиметрии.

Для реконструкции дозовых нагрузок, как правило, используют порошкообразные образцы эмали. Известно, что в спектрах ЭПР порошкообразных образцов информация об анизотропии исследуемых объектов теряется. Однако при регистрации сигналов ЭПР от пластинок эмали можно определять анизотропные характеристики этих пластинок. Кроме того, на основании ЭПР данных об анизотропии эмали можно оценить влияние кариеса на внутреннюю структуру этой биологической ткани, что открывает дополнительные возможности для разработки новых подходов в ЭПР дозиметрии, которые позволяют повысить достоверность результатов, связанных с реконструкцией доз.

**Целью** данной работы является разработка новых методов изучения внутренней структуры эмали и других биоминералов, а также новых подходов в ЭПР дозиметрии, использующей эмаль зубов для определения дозы облучения, которую человек получил в прошлом. Эти подходы основаны на регистрации сигналов ЭПР от пластинок эмали и на определении степени текстурирования эмали исходя из анизотропии сигналов ЭПР.

## 2. Исследованные образцы и экспериментальные методики

Исследованные образцы были получены в стоматологических поликлиниках Киева и Киевской обл. Кроме того, в Научном центре радиационной медицины Академии медицинских наук Украины нами были получены образцы зубов пациентов, которые принимали участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. В медицинских документах этих пациентов имелась информация о полученной ими дозе облучения. Пластины эмали вырезали из исследованных зубов с помощью алмазного инструмента. Типичные размеры исследуемых пластинок: ширина — 2, толщина — 1 и длина — 2,5 мм.

Регистрацию спектров ЭПР проводили с помощью спектрометров *ERS-231* (Германия) и *PS-100.X* (Беларусь), которые работают в трехсантиметровом диапазоне длин волн. Частота модуляции квазипостоянного магнитного поля у этих спектрометров равна 100 кГц. Амплитуда поля модуляции магнитного поля была равна  $2 \cdot 10^{-4}$  Тл. Спектры ЭПР регистрировали при комнатной температуре. В качестве эталонного образца использовался порошкообразный образец  $\text{MgO}$ , содержащий примесные ионы  $\text{Mn}^{2+}$ .

## 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

**3.1. Анизотропия сигналов ЭПР в пластинках эмали зубов.** При вращении пластинок эмали зубов в магнитном поле форма сигналов ЭПР, обусловленных радикалами  $\text{CO}_2^-$ , существенно изменяется. Для описания эффектов анизотропии эмали нами использована природная система координат, связанная с положением зуба в организме человека. В этой системе координат введены вертикальная ( $v$ ), горизонтальная ( $h$ ) и перпендикулярная ( $p$ ) оси, которые взаимно перпендикулярны между собой. При этом ось  $p$  перпендикулярна к поверхности зуба.

Спектры на рис. 1 соответствуют ориентации магнитного поля вдоль осей  $h$  и  $p$  соответственно. Как видно из этого рисунка, при ориентации вектора магнитного поля  $\vec{B}$  вдоль осей  $h$  и  $p$  спектры ЭПР радикалов  $\text{CO}_2^-$  существенно не одинаковы. Отметим, что при вращении вектора  $\vec{B}$  в плоскости ( $h - v$ ) форма сигналов ЭПР от  $\text{CO}_2^-$  радикалов изменяется слабо.

Изменения формы сигналов ЭПР, представленные на рис. 1, связаны с тем, что эмаль зубов является текстурированной биологической тканью. Текстурирование эмали обус-

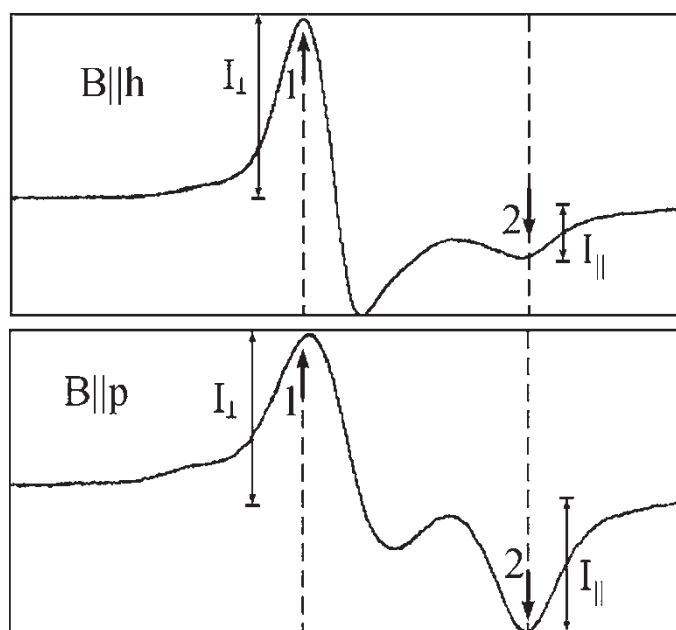


Рис. 1. Вид сигналов ЭПР, обусловленных  $\text{CO}_2^-$  радикалами, при двух ориентациях пластинки эмали по отношению к вектору магнитного поля. Верхний спектр соответствует  $\vec{B} \parallel h$ , а нижний —  $\vec{B} \parallel p$ . Цифры 1 и 2 указывают интенсивности пиков сигналов  $I_{\perp}$  и  $I_{\parallel}$ , которые относятся к компонентам  $g$ -тензора  $g_{\perp}$  и  $g_{\parallel}$  соответственно.

ловлено особенностями иерархии ее внутреннего строения. Факторы, которые приводят к анизотропии сигналов ЭПР, связаны со следующим. Нанокристаллы гидроксиапатита, которые формируют минеральную компоненту эмали, ориентированы в основном вдоль оси  $p$  введенной нами природной системы координат. Соответственно, оптическая ось  $c$  нанокристаллов гидроксиапатита (которая является кристаллографической осью шестого порядка) тоже оказывается ориентированной в основном вдоль оси  $p$  природной системы координат.

Анизотропия сигналов ЭПР от  $\text{CO}_2^-$  радикалов в эмали может быть охарактеризована тензором спектроскопического расщепления ( $g$ -тензором). Этот тензор содержит две компоненты  $g_{\parallel}$  и  $g_{\perp}$ . При этом параллельной и перпендикулярной компонентам  $g$ -тензора приблизительно можно приписать значения  $g_{\parallel} = 1,9973 \pm 0,0005$  и  $g_{\perp} = 2,0020 \pm 0,0005$ . Главная ось  $g$ -тензора (которая совпадает с компонентой  $g_{\parallel}$ ) в пределах  $\text{CO}_2^-$  радикала ориентирована вдоль направления кислород — кислород и, кроме того, совпадает с оптической осью  $c$  нанокристаллов гидроксиапатита.

Интенсивности пиков сигнала ЭПР  $I_{\parallel}$  и  $I_{\perp}$  на рис. 1 характеризуют количество нанокристаллов гидроксиапатита, ориентированных вдоль и перпендикулярно вектору  $\vec{B}$ . Как видно из представленных спектров, при  $\vec{B} \parallel h$  нанокристаллы ориентированы преимущественно перпендикулярно вектору  $\vec{B}$ , а количество нанокристаллов, ориентированных параллельно вектору  $\vec{B}$ , является относительно небольшим. При ориентации  $\vec{B} \parallel p$  количество нанокристаллов, ориентированных параллельно вектору  $\vec{B}$ , существенно увеличивается.

Изложенные выше данные об анизотропии сигналов ЭПР и текстурировании эмали можно наглядно пояснить с помощью рис. 2, на котором изображены микрофотография эмали и схема, иллюстрирующая форму и ориентацию эмалевых призм, а также ориентацию нанокристаллов гидроксиапатита в введенной нами природной системе координат [1]. Из этого рисунка видно, что ассоциации эмалевых призм, эмалевые призмы и нанокристаллы гидроксиапатита ориентированы в основном перпендикулярно поверхности зуба. Из данных, представленных на рис. 2, а также приведенных выше сведений о том, что главная ось  $g$ -тензора совпадает с направлением оптической оси гидроксиапатита, мож-

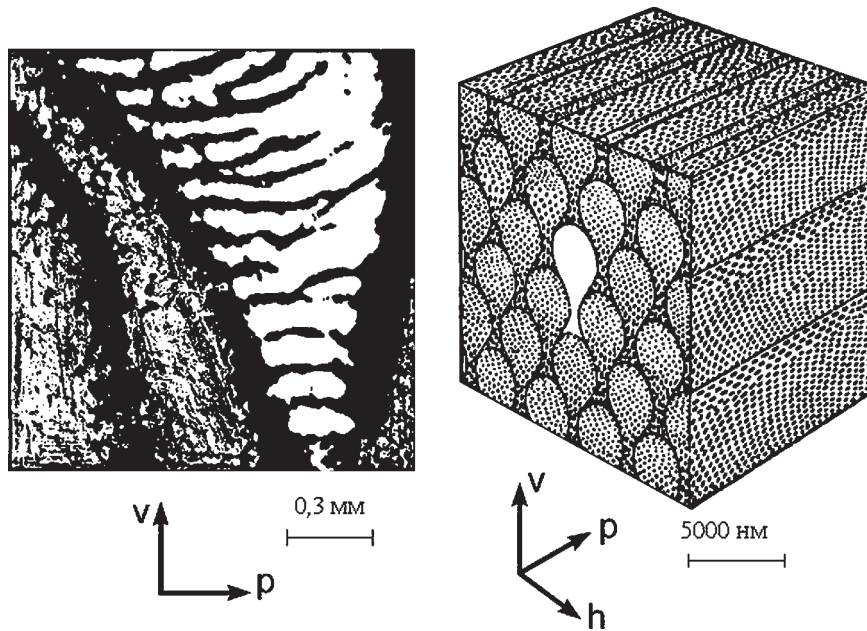


Рис. 2. Внутренняя структура эмали зубов. Слева показана микрофотография пластинки эмали в поляризованном свете, а справа схематическое изображение эмалевых призм, заполненных нанокристаллами гидроксиапатита.

но легко понять причины изменения формы сигналов ЭПР, которые представлены на рис. 1.

Если сигналы ЭПР  $\text{CO}_2^-$  радикалов регистрируются от порошкообразных образцов, то описанное выше текстурирование эмали не оказывает существенного влияния на форму сигналов. В порошкообразных образцах отдельные частицы ориентированы хаотично по отношению к вектору  $\vec{B}$ . Соответственно, можно считать, что ориентация главной оси  $g$ -тензора  $\text{CO}_2^-$  радикалов по отношению к вектору  $\vec{B}$  тоже является хаотичной (хотя для каждой отдельной частицы главная ось  $g$ -тензора совпадает с направлением оси  $p$ ). Положение резонансных линий частиц эмали, для которых вектор  $\vec{B}$  совпадает с осями  $v$  и  $h$ , является примерно одинаковым и соответствует компоненте  $g_{\perp}$ , а для частиц с ориентацией  $\parallel p$  положение резонансных линий соответствует компоненте  $g_{\parallel}$ . При вращении порошкообразного образца в магнитном поле форма сигнала ЭПР практически не изменяется. Это связано с тем, что в случае порошкообразных образцов усредненное количество нанокристаллов, которые дают вклад в пики сигнала ЭПР  $I_{\parallel}$  и  $I_{\perp}$ , для разных ориентаций магнитного поля будет одинаковым.

**3.2. Определение степени текстурирования эмали с помощью ЭПР.** Несмотря на то, что информация о текстурировании эмали может быть получена с помощью разных методов, количественные методы определения текстурирования этой биологической ткани разработаны недостаточно. Описанная в предыдущем разделе анизотропия сигналов ЭПР открывает возможности для количественного определения степени текстурирования эмали.

Введем два коэффициента анизотропии, которые характеризуют форму сигналов ЭПР, обусловленных  $\text{CO}_2^-$  радикалами в эмали зубов

$$K_1 = I_{\perp, h} / I_{\parallel, h}, \quad (1)$$

$$K_2 = I_{\perp, p} / I_{\parallel, p}. \quad (2)$$

В формулах (1, 2) значения  $I_{\perp, h}$  и  $I_{\parallel, h}$  соответствуют перпендикулярной и параллельной компонентам сигнала ЭПР при ориентации вектора магнитного поля  $\vec{B} \parallel h$ , а величины  $I_{\perp, p}$  и  $I_{\parallel, p}$  соответствуют аналогичным компонентам при ориентации  $\vec{B} \parallel p$ .

Типичные значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  для пластинок эмали зубов, которые не поражены кариесом, оказываются примерно равными:  $K_1 = 3,3 \pm 0,2$  и  $K_2 = 1,1 \pm 0,2$ . При поражении зубов кариесом значение коэффициента анизотропии  $K_1$  уменьшается, а коэф-

коэффициента  $K_2$ , наоборот, увеличивается. Это связано с тем фактом, что при заболеваниях зубов кариесом ориентация нанокристаллов становится более хаотической и, соответственно, преимущественная ориентация нанокристаллов вдоль оси  $p$  природной системы координат становится менее выраженной. Таким образом, определяя экспериментально значения коэффициентов анизотропии  $K_1$  и  $K_2$ , можно количественно судить о степени текстурирования эмали зубов. Отметим, что для порошкообразных образцов отношение интенсивностей пиков  $I_{\perp}$  и  $I_{\parallel}$  не зависит от ориентации образца в магнитном поле и, как правило, оказывается примерно равным  $2,0 \pm 0,2$ . Отметим, что на соотношение пиков  $I_{\perp}$  и  $I_{\parallel}$  как в пластинках эмали, так и в порошкообразных образцах влияют степень насыщения сигналов ЭПР, а также вклад в регистрируемые сигналы других парамагнитных центров, не связанных с  $\text{CO}_2^-$  радикалами. Однако это влияние обычно невелико.

**3.3. Влияние кариеса на результаты ретроспективной дозиметрии.** При реконструкции доз, как правило, предполагают, что радикалы  $\text{CO}_2^-$  являются стабильными и, соответственно, считают, что количество  $\text{CO}_2^-$  радикалов пропорционально дозе облучения. Вместе с тем, при заболеваниях зубов кариесом вопрос о стабильности  $\text{CO}_2^-$  радикалов является дискуссионным [8]. Соответственно, возникает необходимость в разработке методов, которые при заболеваниях зубов кариесом могли бы объективно судить о пригодности эмали зубов для реконструкции дозовых нагрузок человека.

Характеристики образцов эмали зубов, использованных для реконструкции доз с помощью ЭПР, представлены в таблице. Согласно данным медицинских документов, дозовые нагрузки пациентов 1 и 2 были равны примерно 1500 и 2000 мГр соответственно. Для использованных зубов пациентов 1 и 2 площади поверхности зуба, пораженные кариесом, составляли примерно 20 и 50 % соответственно. Для реконструкции доз нами использованы образцы, которые обозначены как: 1–А, 1–В и 2–А, 2–В. Цифры в этом обозначении указывают номер пациента, а буквы А и В характеризуют участок зуба, из которого изготовлена проба для исследований. При этом буква А соответствует участкам зуба без заметных поражений кариесом, а буква В — участкам, пораженным кариесом. Реконструкция доз была проведена по методике, которая не требует лабораторного дооблучения образцов и основана на универсальной калибровочной кривой [12, 13]. Результаты реконструкции доз представлены в таблице. Для участков, пораженных кариесом (см. таблицу), реконструкция доз оказалась затруднительной из-за малой интенсивности сигналов ЭПР, обусловленных  $\text{CO}_2^-$  радикалами, а также из-за более интенсивных фоновых сигналов, связанных с нативными радикалами [7].

После реконструкции дозовых нагрузок исследованные пластинки эмали, взятые из разных участков зуба, были облучены рентгеновскими лучами. Доза облучения при этом соответствовала примерно  $10^2$  Гр. Облучение пластинок приводило к существенному увеличению интенсивности сигналов ЭПР, обусловленных  $\text{CO}_2^-$  радикалами. Для облученных пластинок были определены коэффициенты анизотропии  $K_1$  и  $K_2$ , значения которых приведены в таблице.

На основании данных, приведенных в таблице, можно заключить следующее. При заболеваниях зубов кариесом коэффициенты анизотропии изменяются, что обусловлено уменьшением степени текстурирования эмали. Процессы, связанные с кариесом, могут изменять зарядовое состояние парамагнитных радикалов  $\text{CO}_2^-$  и переводить их в непара-

**Характеристики зубов, использованных для реконструкции доз**

Характеристики использованных образцов	Номер пациента			
	1		2	
Доза в медицинских документах, мГр	≈ 1500		≈ 2000	
Тип зуба	Премоляр		Премоляр	
Площадь, пораженная кариесом	≈ 20 %		≈ 50 %	
Обозначение образца	1–А	1–В	2–А	2–В
ЭПР доза, мГр	1200 ± 300	—	1400 ± 300	—
$K_1$	3,2 ± 0,2	2,7 ± 0,2	3,1 ± 0,2	2,5 ± 0,2
$K_2$	1,2 ± 0,2	1,7 ± 0,2	1,3 ± 0,2	1,8 ± 0,2

магнитное состояние, а также изменять количество карбонатного вещества в эмали. Таким образом, при заболеваниях зубов кариесом предположение о стабильности  $\text{CO}_2^-$  радикалов является необоснованным. Кроме того, радиационная чувствительность эмали под влиянием кариеса может изменяться. Перечисленные факторы могут существенно влиять на достоверность результатов, полученных с помощью ЭПР дозиметрии эмали зубов. Соответственно, для повышения достоверности результатов ретроспективной дозиметрии необходимо оценивать степень влияния кариеса на структуру и свойства образцов, используемых для реконструкции доз. Измерение коэффициентов анизотропии позволяет оценить степень уменьшения текстурирования эмали под влиянием кариеса и, соответственно, оценить пригодность конкретных образцов эмали для реконструкции дозовых нагрузок человека.

#### 4. Заключение

Приведенные в данной работе результаты показывают, что введенные коэффициенты анизотропии, определяемые с помощью ЭПР, позволяют количественно характеризовать степень текстурирования эмали. Сущность разработанной нами методики состоит в следующем. Поскольку ориентация  $\text{CO}_2^-$  радикалов, имеющих анизотропный  $g$ -тензор, связана с ориентацией нанокристаллов гидроксиапатита, то по интенсивности сигналов ЭПР, соответствующих разным компонентам  $g$ -тензора, можно определять соотношение количества нанокристаллов, которые ориентированы вдоль и перпендикулярно магнитному полю.

С помощью разработанных подходов оказывается возможным изучать изменения степени текстурирования эмали под влиянием разных факторов, в том числе под влиянием заболевания зубов кариесом. Изменения степени текстурирования эмали при заболеваниях зубов кариесом обусловлены изменениями свойств нанокристаллов гидроксиапатита и органической матрицы эмали. Первичные причины, которые ведут к возникновению кариеса и, соответственно, к изменению свойств эмали, могут быть связаны с изменениями как в минеральной, так и в органической компоненте эмали. Отметим, что описанные в статье методики могут быть использованы для изучения механизмов возникновения кариеса, а также для разработки способов профилактики этого заболевания.

Поскольку при заболеваниях зубов кариесом зарядовое состояние парамагнитных радикалов  $\text{CO}_2^-$  может изменяться, то это существенно влияет на результаты ретроспективной дозиметрии человека, основанной на ЭПР эмали зубов. Результаты, полученные в данной работе, открывают новые возможности для определения пригодности конкретных образцов эмали для решения задач, связанных с реконструкцией доз. Эти возможности основаны на определении коэффициентов анизотропии эмали с помощью ЭПР  $\text{CO}_2^-$  радикалов, а также на сопоставлении интенсивностей сигналов ЭПР в разных участках эмали.

Дальнейший прогресс в изучении текстурирования эмали и других биоминералов, используемых в ретроспективной ЭПР дозиметрии, должен основываться на детальном изучении стабильности разных групп  $\text{CO}_2^-$  радикалов, локализованных в разных подсистемах биоминералов, а также на изучении влияния степени текстурирования на коэффициенты радиационной чувствительности биоминералов.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства образования и науки Украины (проект 16.01.04 ДБ).

1. Боровский Е. В., Леонтьев В. К. Биология полости рта. — М.: Медицина, 1991. — 303 с.
2. Брик А. Б., Радчук В. В. Ретроспективная инструментальная дозиметрия // Природа. — 1994. — № 2. — С. 3–11.
3. Ильичев С. В., Кочетков О. А., Крючков В. П. Ретроспективная дозиметрия. — Киев: Седа Стил, 1996. — 234 с.
4. Инграм Д. Электронный парамагнитный резонанс в биологии. — М.: Мир, 1972. — 296 с.
5. Кораго А. А. Введение в биоминералогию. — СПб.: Недра, 1992. — 280 с.
6. Радчук В. В., Брик А. Б. Свойства нативных и радиационно-стимулированных радикалов в эмали

- зубов и проблемы ретроспективной дозиметрии // Минерал. журн. — 2007. — 29, № 4. — С. 21–31.
7. Brik A. B., Brik V. B. Mechanisms of diffusion in biominerals and bone demineralization during space flights // Mineral. Journ. (Ukraine). — 1998. — 20, No 5. — P. 46–61.
  8. Brik A., Radchuk V., Scherbina O. et al. Metabolism in tooth enamel and reliability of retrospective EPR dosimetry connected with Chernobyl accident // The radiological consequences of the Chernobyl accident / Ed. A. Karaoglou. — Brussels: Europ. Commiss., 1996. — P. 1055–1058.
  9. Driessens F. C. M., Verbeeck R. M. H. Biominerals. — Boca Raton: CRC Press, 1990. — 428 p.
  10. Ikeya M. New applications of electron paramagnetic resonance: dating, dosimetry and microscopy. — Singapore: World Sci., 1993. — 500 p.
  11. Retrospective dosimetry and dose reconstruction. Experimental collaboration project No 10 / Ed. I. Bailiff, V. Stepanenko. — Brussels: Europ. Commiss., 1996. — 115 p.
  12. Use of electron paramagnetic resonance with tooth enamel for retrospective dose assessment. TECDOC-1331. — Vienna: IAEA, 2002. — 57 p.
  13. Wieser A., Mehta K., Amira S. et al. The second intercomparison on ESR tooth dosimetry // Radiat. Meas. — 2000. — 32. — P. 549–557.

Ин-т телекоммуникаций и глоб. информ.  
пространства НАН Украины, Киев  
Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н. П. Семененко НАН Украины, Киев  
Киев. нац. ун-т технологий и дизайна, Киев  
Стоматол. поликлиника Дарниц. р-на, Киев

Поступила 26.10.2007

**РЕЗЮМЕ.** Розроблено методики визначення ступеня текстурування емалі зубів за допомогою електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). У якості парамагнітного зонду використані радикали  $\text{CO}_2^-$ , просторова орієнтація яких пов'язана з орієнтацією нанокристалів гідроксиапатиту, які формують мінеральну компоненту емалі. Показано, що під час обертання пластинок емалі в магнітному полі форма сигналів ЕПР, обумовлених радикалами  $\text{CO}_2^-$ , істотно змінюється. Введено поняття коефіцієнтів анізотропії, які характеризують ступінь впорядкованості нанокристалів гідроксиапатиту в емалі зубів. Ці коефіцієнти можуть бути визначені експериментально за співвідношенням інтенсивностей сигналів ЕПР, які відповідають різним компонентам тензора спектроскопічного розщеплення. Показано, що під час захворювань зубів карієсом ступінь текстурування емалі і, відповідно, анізотропія сигналів ЕПР зменшуються. Встановлено, що процеси, які протікають під час карієсу, ведуть до зміни зарядового стану парамагнітних  $\text{CO}_2^-$  радикалів, що істотно впливає на результати ретроспективної дозиметрії. За допомогою ЕПР проведена реконструкція дозових навантажень для декількох зразків емалі зубів, які порізному були уражені карієсом. Проаналізовано вплив карієсу на достовірність результатів, пов'язаних з реконструкцією доз. Показано, що введені нами коефіцієнти анізотропії дозволяють визначати придатність емалі зубів для її використання в ретроспективній дозиметрії.

**SUMMARY.** Procedures for determining of the enamel texturing degree using the electron paramagnetic resonance (EPR) have been developed. Radicals  $\text{CO}_2^-$ , which space orientation is connected with hydroxyapatite nanocrystals, were used as a paramagnetic sonde. The anisotropy coefficients, which characterize the degree of hydroxyapatite nanocrystals ordering in the tooth enamel have been introduced. These coefficients can be determined experimentally by intensity of EPR signals, which corresponds to different components of spectroscopic splitting tensor. It is shown that under caries the degree of the enamel texturing, and EPR signal anisotropy, respectively, decrease. It is established that the processes proceeding under caries lead to the changes of the charge state of paramagnetic  $\text{CO}_2^-$  radicals that affects considerably on the results of retrospective dosimetry. The EPR method was used for the reconstruction of dose loads for several tooth enamel samples which were affected by caries to different extent. It is shown that the introduced anisotropy coefficients permit determining the enamel suitability for its use in retrospective dosimetry.