

ISSN (Print) 2616-6836  
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ** сериясы

**PHYSICS. ASTRONOMY** Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

**Нұр-Сұлтан, 2019**

**Nur-Sultan, 2019**

**Нур-Султан, 2019**

*Бас редакторы:*  
ф.-м.ғ.д., профессор  
**А.Т. Ақылбеков** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары*

**Гиниятова Ш.Г.**, ф.-м.ғ.к., доцент  
(Қазақстан)

*Редакция алқасы*

<b>Арынгазин А.Қ.</b>	ф.-м.ғ. докторы(Қазақстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
<b>Даулетбекова А.Қ.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Ержанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
<b>Жұмаділов Қ.Ш.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Здоровец М.</b>	ф.-м.ғ.к.(Қазақстан)
<b>Қадыржанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Кутербеков Қ.А.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	ф.-м.ғ.д., проф.(Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Мырзақұлов Р.Қ.</b>	ф.-м.ғ.д., проф.(Қазақстан)
<b>Нұрахметов Т.Н.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Тлеукенов С.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф.(Жапония)

*Редакцияның мекенжайы:* 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.  
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:* А. Нұрболат

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.**  
**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК  
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.  
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 349 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

*Editor-in-Chief*

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor  
**A.T. Akilbekov** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*

**Giniyatova Sh.G.**, Candidate of Phys.-Math. Sciences,  
Assoc. Prof. (Kazakhstan)

*Editorial Board*

<b>Aryngazin A.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Aldongarov A.A.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Balapanov M.Kh.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
<b>Bakhtizin R.Z.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
<b>Dauletbekova A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
<b>Hoshi M.</b>	PhD, Prof. (Japan)
<b>Kadyrzhanov K.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Kainarbay A.Zh.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Kuterbekov K.A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Lushchik A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
<b>Morzabayev A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Myrzakulov R.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Nurakhmetov T.N.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Sautbekov S.S.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Salikhodzha Z. M</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Tleukenov S.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Useinov A.B.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Yerzhanov K.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
<b>Zdorovets M.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Zhumadilov K.Sh.</b>	PhD (Kazakhstan)

*Editorial address:* L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008  
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* A.Nurbolat

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

*Главный редактор:*  
доктор ф.-м.н.  
**А.Т. Акилбеков**, доктор ф.-м.н., профессор (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**Ш.Г. Гиниятова** к.ф.-м.н., доцент  
(Казахстан)

*Редакционная коллегия*

<b>Арынгазин А.К.</b>	доктор ф.-м.н.(Казахстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Даулетбекова А.К.</b>	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Ержанов К.К.</b>	к.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Жумадилов К.Ш.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Здоровец М.</b>	к.ф.-м.н.(Казахстан)
<b>Кадыржанов К.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	к.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Кутербеков К.А.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	д.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Мырзакулов Р.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Нурахметов Т.Н.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	к.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Тлеукунов С.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф. (Япония)

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.  
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* А. Нурболат

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**  
**Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК  
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван, Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> Кристалды Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -те латентті тректердің пайда болу энергиясының ионизациялық жоғалтуының шекті деңгейін анықтау	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргібаева И.С.</i> Кумарин бояғышымен байланысты CdS кластерлерінде электрондық ауысуларды есептеу	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сағындықова Ғ.Е., Есманова С.С.</i> Педагогикалық мамандық студенттерінің сыни ойлауын дамыту	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Ғ.К., Сәрсенғалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Оттегі енгізілген ZnWO <sub>4</sub> кристалдарының люминесценциясы	33
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Мұхамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уәлшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимғалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> 8-217 МэВ энергиясы кезінде <sup>28</sup> Si ядросында <sup>3</sup> He серпімді шашырауын зерттеу	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Ғ.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Қуатты электронды ағынында синтезделген MgF <sub>2</sub> -WO <sub>2</sub> керамикасының құрылымы	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Мухамбетов Д.</i> Болат илемдеу өндірісінің қосалқы өнімдер бөлшектерінің морфологиясы	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзақулов Н.А.</i> Камасс-Холм теңдеуі үшін беттің бірінші және екінші фундаменталды формасы	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Ғ.Н., Мырзақулов Р.</i> (2+1)-өлшемді Дэви-Стюартсон I теңдеуінің екікомпонентті жалпылануы I	73
<i>Ногай А.С., Кутербеков К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Платинасыз катализаторлары бар нафион типті мембраналардағы жылу релаксациялық поляризациясының ерекшеліктері	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Төмен доза әсер ету ықпалын бағалау мәселесі	86
<i>Шанина З.К.</i> Конно-Оно теңдеуінің дисперсиясыз шегі	93
<i>Шаханова Ғ.А.</i> Ақыл-ой карталарын оқу үдерісінде идеяларды қалыптастыру және құрылымдау әдісі ретінде қолдану	99
<i>Русақова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Нейтрондармен сәулеленген GaAs диэлектрлік қасиеттерін күйдіру	107

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.  
ASTRONOMY SERIES

№4(129)/2019

CONTENTS

<i>Ibrayeva A.D., Janse A. Vuuren Van, Skuratov V.A., Zdorovets M.V.</i> About determination of the threshold ionization energy losses for the latent tracks formation in crystalline $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S.</i> Calculation of electronic transitions in CdS clusters associated with coumarin dye	15
<i>Ermekova Zh.K., Aldongarov A.A., Sagyndykova G.E., Esmanova S.S.</i> Development of critical thinking of students of pedagogical specialties	27
<i>Karipbaev Zh.T., Abuova A.U. Alpyssova G.K., Sarsengalieva K.M., Baozholov K.A., Kukenova A.B., Zdorovets M.V.</i> Luminescence of $\text{ZnWO}_4$ crystals with oxygen introduced	33
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Mukhambetzhana A.M., Nurzhanov A.B., Ualsherov D.T., Bekmyrza K.Zh., Rakhimgaliyeva I.T., Sarsenov R.M., Makhambayeva .U.</i> Study of the elastic scattering of $^3\text{He}$ on the $^{28}\text{Si}$ nucleus at the energy of 8 -217 MeV	42
<i>Musahanov D., Lisitsyn V., Karipbaev Zh., Alpyssova G., Golkovskii M., Dauletbekova A., Kozlovskii A., Zdorovec M.</i> The structure of $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ ceramic synthesized in a powerful electron flow	51
<i>Kargin D., Kozlovskij A., Altynov E., Kasymhanov Zh., Biseken A., Muhambetov D.</i> Morphology of the particles of by-products of steel rolling production	59
<i>Mussatayeva A.B., Myrzakulov N.A.</i> The first and second fundamental forms for the Camassa-Holm equation	65
<i>Serikbayev N.S., Nugmanova G.N., Myrzakulov R.</i> On the Integrable Two-Component (2+1)-dimensional Davey-Stewartson Equation	73
<i>Nogay A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbayev D.E., Bekmyrza K.Zh., Nogay A.A., Kabyshv A.M.</i> Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts	80
<i>Nursultanova N., Zhumadilov K.</i> The problem of assessing the effects of low-dose exposure	86
<i>Shanina Z.K.</i> Dispersionless limit of the Konno-Oono equation	93
<i>Shakhanova G.A.</i> Mind maps as a method of generating and structuring ideas in the learning process	99
<i>Russakova A.V., Akilbekov A.T., Zhunusova M.K.</i> Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons	107

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван., Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> К вопросу об определении порогового уровня ионизационных потерь энергии образования латентных треков в кристаллическом $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Расчет электронных переходов в кластерах CdS, связанных с кумариновым красителем	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сагындыкова Г.Е., Есманова С.С.</i> Развитие критического мышления студентов педагогических специальностей	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сарсенгалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Люминесценция кристаллов $\text{ZnWO}_4$ с введенным кислородом	33
<i>Кабышев А.М., Кутербекоев К.А., Мухамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уалшиеров Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимгалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> Изучение упругого рассеяния $^3\text{He}$ на ядре $^{28}\text{Si}$ при энергии 8-217 МэВ	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Структура керамики $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ , синтезированной в мощном потоке электронов	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Д.Мухамбетов</i> Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Первая и вторая фундаментальные формы поверхности для уравнения Камасса-Холма	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзакулов Р.</i> О двухкомпонентном обобщении (2+1)-мерного уравнения Дэви-Стюартсона I	73
<i>Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения	86
<i>Шанина З.К.</i> Бездисперсионный предел уравнения Конно-Оно	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Интеллект-карты как метод генерации и структурирования идей в учебном процессе	99
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами	107

Н.С. Нурсултанова, К.Ш. Жумадилов

*Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
(E-mail: nazjan777.nn@gmail.com, kassymzh@yahoo.com)*

### Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения

**Аннотация:** Суть метода ЭПР-спектрометрии заключается в том, что в эмали зубов под действием радиации образуют стабильные долгоживущие радикалы, которые находятся в зависимости от облучения и ее дозы. Это позволяет использовать эмаль как природный дозиметр. Информацию о накопленной дозе в таком дозиметре считывают по спектрам ЭПР зубов. Основными компонентами ЭПР спектрометрии является нативный и радиационно-индуцированные сигналы. Для исследования берут зубы, удаленные по стоматологическим показаниям, лечение которых проводилось бормашинами последних поколений. Воздействие от бор машин, при обработке зубов с высокими оборотами вращения, вызывает формирование парамагнитных центров в эмали зубов. Поскольку механико-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.

**Ключевые слова:** ЭПР, радикалы, рак, дозиметр, зубы.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-86-92>

**Введение.** Для предотвращения возникновения рака, необходимо периодически измерять низкие дозы облучения. Для этого каждый должен носить с собой дозиметр, который должен иметь высокую чувствительность (нижний порог измерения дозы не более 1 рад) и хранить информацию о накопленных дозах за десятилетия. Зубная эмаль - это дозиметр, отвечающий этим требованиям [1]. Ионизирующее излучение производит в нем  $CO_3^{\cdot-}$  радикалы [1], концентрация которых линейно связана с поглощенной дозой. Одним из популярных методов для ретроспективной оценки индивидуальных накопленных доз гамма-излучения является метод на основе спектроскопии электронного парамагнитного резонанса эмали зубов человека, непосредственно удаленных по назначению врача. Несмотря на многолетнее, успешное использование ЭПР-дозиметрии для оценки поглощенных доз и широкое распространение, этот метод является относительно новым и требует дальнейшего совершенствования. Для того чтобы получить чистую эмаль внутренняя часть каждого зуба должна быть высверлена для удаления дентина настолько, насколько это возможно, так как он не имеет дозиметрических функций [2]. В результате куски эмали массой 45-90 мг измеряются с помощью спектрометра ЭПР.

ЭПР обнаруживает радикалы (непарные электроны), вызванные радиационным воздействием, и эмаль зубов и кости подходят для этой цели. Поскольку кости непрерывно реконструируются и не являются легкодоступными, в настоящее время в исследованиях ЭПР используются главным образом зубы. Эмаль, покрывающая поверхность зуба, состоит в основном из гидроксиапатита ( $3Ca_3(PO_4)_2 * Ca(OH)_2$  с различного рода примесями - карбоксиапатитом  $CaCO_3$ , хлорапатитом  $CaCl_2$ , фторапатитом  $CaF_2$ .) и свободна от любого метаболизма. Зубная эмаль - уникальная и неорганическая структура тела.

Хотя лабораторные исследования по ЭПР публикуются с 1960-х годов, в последнее десятилетие ЭПР вновь привлекает к себе внимание. Современные знания об ЭПР зубной эмали кратко изложены ниже.

1. Измеряются радикалы  $CO_3^{\cdot-}$ .
2. По сравнению с гамма-излучениями нейтроны гораздо менее эффективны в получении ЭПР-сигналов [2].
3. Наблюдаемая интенсивность сигнала ЭПР линейно пропорциональна (до 30 мг) массе исследуемой эмали [2].



4. Облучение образцов эмали *in vitro*, как в сухих условиях, так и в воде, производило идентичные интенсивности сигнала ЭПР [2].
5. Предпочтительны размеры зерен эмали диаметром 0,5-1,4 мкм [2].

**Основная идея метода.** Когда на зубную эмаль воздействует ионизирующее излучение, образуются стабильные радиационно-индуцированные парамагнитные центры, которые, как и говорилось выше, хранят информацию с момента появления этого зуба. Их мы регистрируем с помощью ЭПР-спектроскопии и уже смотря на их концентрацию, используем калибровочные зависимости, определяем их накопленную дозу [2]. Например, радиоактивность природных радиоизотопов, таких как  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ , обнаруженная в породах и почвах, составляет приблизительно 55% от дозы естественного облучения во всемирной средней годовой эффективной дозе [3].

Существуют несколько проблем в ЭПР спектрометрии зуба, одно из них отрицательное влияние загрязнения дентина. Поскольку дентин дает начало большому фоновому сигналу ЭПР, по сравнению с эмалью, его загрязнение затеняет присутствие небольшого радиационного сигнала. К тому же дентин недействителен в произведении связанного с радиацией сигнала. Следовательно, после гамма-облучения известных доз увеличение радиационного сигнала может варьироваться в зависимости от доли дентина в препарате (например, по сравнению со 100% эмалью, увеличение сигнала ЭПР, как ожидается, будет только около половины, если загрязнение дентина составляет 50%). Таким образом, рекомендуется тщательная изоляция эмали. Другая проблема заключается в том, как учесть вклад рентгеновских лучей. Как упоминалось ранее, такие низкоэнергетические фотоны гораздо более эффективны, чем  $^{60}\text{Co}$  и  $\gamma$ -лучи, и могут внести значительный вклад в сигнал ЭПР. Мы предполагаем, что большая часть диагностического рентгеновского снимка была сделана вне зуба. Следовательно, если мы разделим каждый зуб на две части до отделения эмали - одна половина от внутренней части рта, а другая от внешней - внешняя половина покажет сигнал ЭПР, связанный с излучением, равный или больше, чем у внутренней половины. Всякий раз, когда во внешней половине наблюдается больший сигнал СОЭ, чем во внутренней половине зуба, мы должны проявлять особую осторожность при интерпретации результатов [3].

Для проведения обследования населения Акмолинской области (города Нур-Султан, Степногорск) мы использовали именно ЭПР спектроскопию, оценили фоновую дозу населения этих городов, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

**Принцип работы ЭПР-спектрометра.** ЭПР по сей день остается единственно возможным методом реконструкции дозы в зубной эмали. ЭПР состоит из резонансного поглощения электромагнитной энергии при электрон-спиновых переходах. Неспаренные электроны свободных радикалов имеют спин, равный  $1/2$ . В магнитном поле существуют два магнитных уровня,  $-\frac{1}{2}$  и  $+\frac{1}{2}$  с разными энергиями [3]. Переход между двумя этими уровнями возможен при следующих условиях резонанса:

$$h\nu = g\mu_B\beta \quad (1.1)$$

где  $\nu$  — резонансная частота,  $h$  — постоянная Планка,  $g$  —  $g$ -фактор, который является константой, приблизительно равной 2 для спина  $\frac{1}{2}$ ,  $\mu_B$  — магнетон Бора, который является элементарным электронным магнитным моментом,  $\beta$  — индукция магнитного поля. Важным выводом, полученным из этой формулы, является линейная зависимость между приложенным магнитным полем и резонансной частотой.

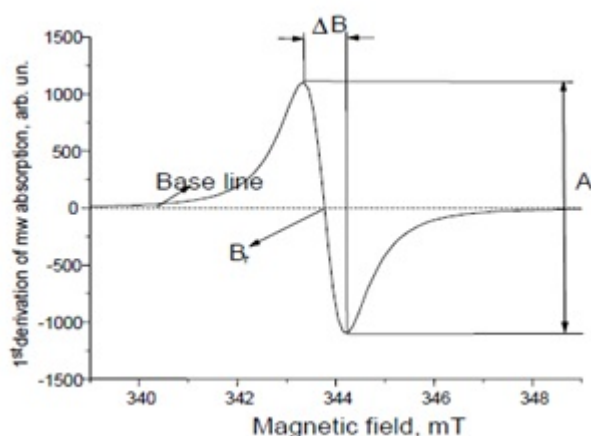


Рисунок 1 - спектр ЭПР с иллюстрациями некоторых его параметров

Первая производная резонансного СВЧ-поглощения обычно называется сигналом ЭПР. Он характеризуется следующими параметрами (рис.1): ширина линии от пика до пика,  $\Delta B$ ; резонансное поле,  $Br$ ; амплитуда от пика до пика,  $A$ .

Свободные радикалы имеют уникальный спектр ЭПР, который отличается своей шириной, формой и резонансным полем. Последнее значение пропорционально  $g$ -фактору (см. формулу 1.1), что примерно одинаково (равно 2) для всех  $\frac{1}{2}$  спинов. Это неблагоприятное обстоятельство, которое приводит к перекрытию большинства сигналов ЭПР в спектре. Иногда разные ширины линий и фигуры помогают, но в некоторых случаях они создают проблемы. Амплитуда от пика до пика обычно пропорциональна числу спинов и, в свою очередь, для дозиметрии ЭПР, она также связана с выходом радиационного радикала и, следовательно, с поглощенной дозой.

**Материалы и методы.** Для разделения эмали использовался дискообразный резак с проточной водой. Это полностью механическое разъединение без химической обработки. Затем эмаль измельчают. Измерения проводились при комнатной температуре с помощью ЭПР спектрометра. Были собраны зубы, удаленные по медицинским показаниям у жителей города Степногорск. Затем была проведена процедура подготовки образцов и измерения ЭПР - спектров для определения фоновой дозы. Рассмотрим схему определения поглощенной дозы с точки зрения требования метрологии [4].

#### 1. Отделение эмали зуба.

Основные условия, которые требуется при этом соблюдать:

- удалить из образца основную часть дентина;
- сохранить в эмали информацию о поглощенной дозе, для чего не допускать нагрев образца, приводящего к отжигу радиационных дефектов;
- не вносить дополнительных парамагнитных примесей, например, за счет износа используемого инструмента.

2. Измельчение эмали. Следует размельчать эмаль до порошка с частицами не более 0,2 мм, что позволяет вполне корректно применять его для обработки ЭПР-дозиметрии.

3. Ожидание релаксации механически индуцированного сигнала в течение 14 суток [5].

При отделении эмали от зуба и ее последующем измельчении в ней возникают механически индуцированные короткоживущие парамагнитные центры, релаксация которых происходит в течение 2 недель. Соответствующая пауза требуется для стабилизации параметров образца. На этом подготовка образца эмали зубов заканчивается.

Спектры ЭПР записывались на спектрометре JEOL JES-FA100(Япония) с использованием стандартного прямоугольного резонатора в X-диапазоне при подводимой микроволновой мощности 2 мВт, частота модуляции магнитного поля - 100 кГц, амплитуда модуляции магнитного поля - 0.3 мТл, развертка магнитного поля - 10 мТл, время развертки поля - 30 с, постоянная времени приемника - 30 мс, количество сканирований - 40 [6].

Таблица 1. Результаты обследования жителей города Степногорск.

№	код	год рождения	возраст формирования эмали	год формирования эмали	$D_{ex}(mGy)$	Er
1	1st-1	1968	12	1980	32,8	25,9
2	1st-2	1968	7	1975	-34,8	25
3	3st	1955	3	1958	-29,5	25
4	4st	1961	12	1973	215,3	38,6
5	5st	1987	12	1999	279,8	42,7
6	6st	1947	3	1950	-47,2	25
7	7st	1977	5	1982	80	27,9
8	8st	1972	3	1975	65,1	27,4
9	9st	1955	3	1958	25,4	26,3
10	11st	1964	7	1971	-78,8	25,6
11	12st	1976	12	1988	44	26,1
12	13st	1959	3	1962	-59,7	25,1
13	14st	1946	3	1949	33,5	26,9
14	15st	1968	3	1971	32,1	26,11
15	16st	1954	6	1960	22,5	26,1
16	17st	1954	3	1957	-70,1	25,2
17	19st	1976	12	1988	8,7	25,2
18	21st	1955	3	1958	21,1	26,1
19	22st	1955	7	1962	15,1	25,8
20	23st	1955	3	1958	77,8	28,8
21	24st	1950	3	1953	-8,9	25,4
22	26st	1953	7	1960	11	25,7
23	27st	1966	12	1978	-63,1	25,4
24	28st	1941	5	1946	28,6	26,8
25	31st	1931	4	1935	134,8	34,2
26	32st	1959	6	1965	133,9	32,3
27	33st	1959	4	1963	68,3	28,1

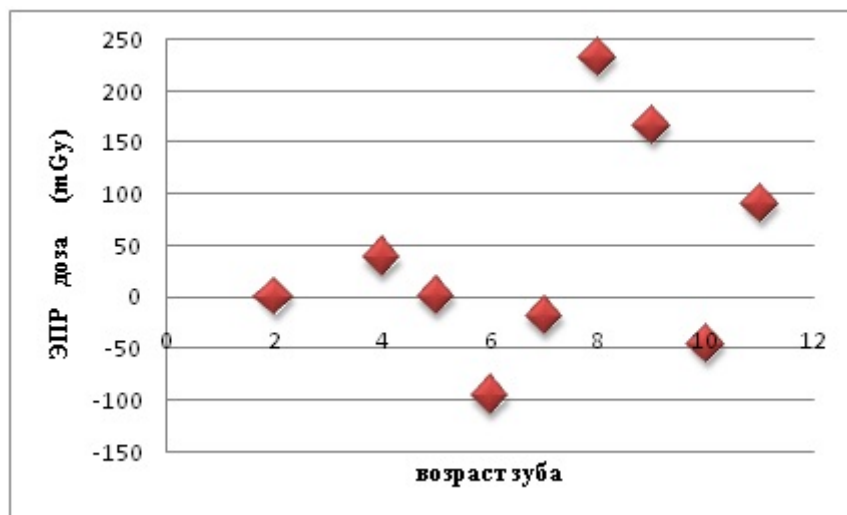


Рисунок 2 - Результаты зависимости ЭПР дозы от возраста формирования эмали зуба

Таблица 2. Результаты обследования жителей города Нур-Султан.

№	код	год рождения	возраст формирования эмали	год формирования эмали	$D_{ex}(mGy)$	Er
1	1as	1974	12	8	-12	25
2	2as	1964	7	7	26	26
3	3as	1964	12	8	-8	25
4	4as	1984	12	8	55	26
5	6as	1946	7	7	52	28

Таблица 3. Результаты обследования рабочих урановой промышленности.

№	код	год рождения	возраст формирования эмали	год формирования эмали	$D_{ex}(mGy)$	Er
1	1st-1	1968	12	7	33	26
2	1st-2	1968	7	8	-35	25
3	3st	1955	3	6	-30	25
4	15st	1968	3	6	32	26
5	16st	1954	6	5	23	25

**Результаты и обсуждение.** На рис.2 мы видим максимальную и минимальную дозу в зависимости от возраста зубов. Из этого мы можем сделать следующий вывод: чем больше возраст, тем выше оценка дозы; максимальная оценка дозы - 250 мГр, минимальная часть достигает 100 мГр.

Мы ввели свои значения в программу GraphPad t-test и сравнили поглощенные дозы жителей городов Нур-Султан и Степногорск, а также работников уранодобывающей промышленности.

**t-test городов Нур-Султан и Степногорск:**

P значение: 0,1463

Средняя группа: 96.00

95% доверительный интервал этой разницы: от -41.58 до 233.58

$t = 1,6091$

$df = 8$

стандартная погрешность разности = 59,661

Таблица 4. Результаты вычислений t-test городов Нур-Султан и Степногорска (программа GraphPad)

Среднее	118,60	22,60
SD	129,55	31,86
SEM	57,93	14,25
N	5	5

**t-test города Нур-Султан и работников уранодобывающей промышленности:**

P значение: 0.4138

Средняя группа: -18.00

95% доверительный интервал этой разности: от -30.15 до 66.15

$t = 0,8620$

$df = 8$

стандартная ошибка разности = 20.881

Таблица 5. Результаты вычислений t-test города Нур-Султан и работников уранодобывающей промышленности (программа GraphPad)

Среднее	22.60	4.60
SD	31.86	34.14
SEM	14.25	15.27
N	5	5

**t-test города Степногорск и работников уранодобывающей промышленности:**

P значение: 0,0623

Средняя группа: 110.83

95% доверительный интервал этой разности: от -6.88 до 228.54

$t = 2,0979$

$df = 10$

стандартная погрешность разности = 52.830

Таблица 6. Результаты вычислений t-test города Степногорск и работников уранодобывающей промышленности (программа GraphPad)

Среднее	103.00	7.83
SD	122.01	43.13
SEM	49.81	17.61
N	6	6

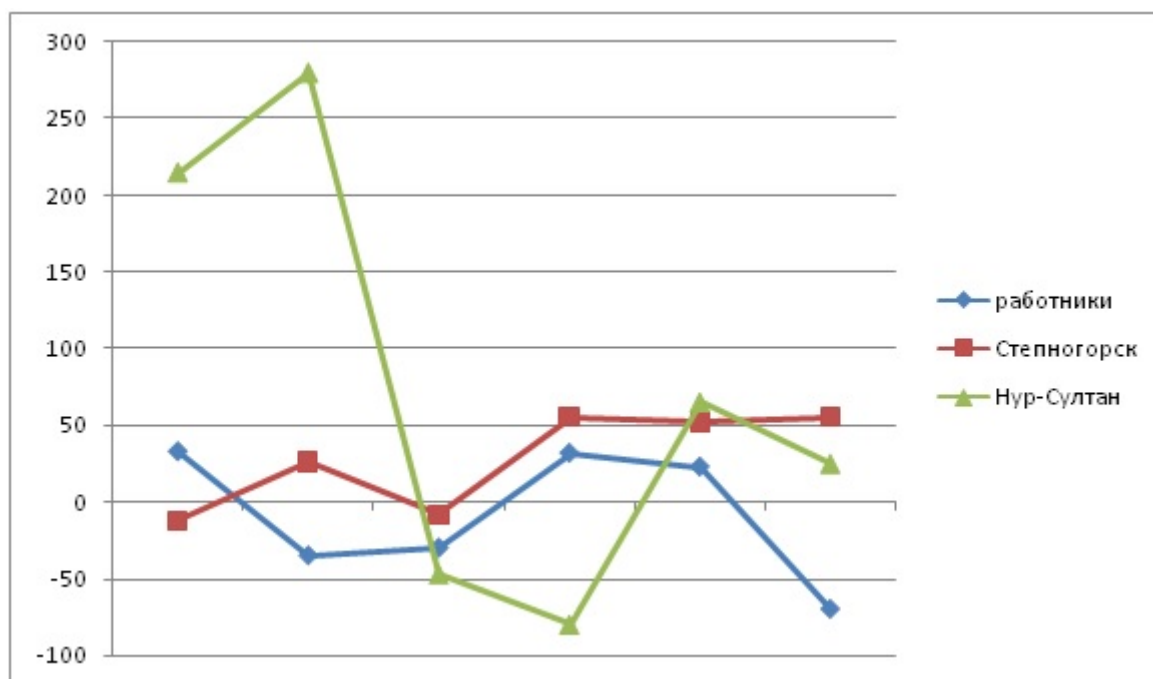


Рисунок 3 - Диаграмма сравнения жителей городов Нур-Султан, Степногорск и работников уранодобывающей промышленности

**Закключение.** Применимость ЭПР для датирования ископаемых зубов представляется весьма вероятной, поскольку зубная эмаль может накапливать дозы облучения, передаваемые при чрезвычайно низких дозах. Это означает, что зубы человека могут быть отличительными природными биодозиметрами не только для острых воздействий, таких как радиация атомных бомб, но и для многократных малых доз или хронических  $\gamma$ -лучей, воздействию которых подвергаются радиационные работники и люди, проживающие в загрязненной окружающей среде. Одним из серьезных недостатков зубного ЭПР является то, что наличие зубов полностью зависит от случая.

Мы сравнили через GraphPad t-test дозы, поглощенные жителями городов Нур-Султан, Степногорск и работников промышленности, связанных с ураном. Опираясь на график (рисунок 3), мы можем утверждать, что выше всего дозы поглощения у жителей города Нур-Султан, а у жителей Степногорска больше, чем у работников урановой промышленности.

### Список литературы

- 1 Henning G., Herr Sh., Shheber E., Hirotiris, N. EPR dating of the fossil skull hominid from the Petralona cave, Greece // *Nature*. -1981. – Vol. 29. – P. 533-536.
- 2 Zhumadilov K., Ivannikov A., Skvorcov V., Stepanenko V., Zhumadilov Z., Jendo S., Tanaka K., Hoshi M. Tooth enamel EPR dosimetry: optimization of EPR spectra recording parameters and effect of sample mass on spectral sensitivity. // *Journal of radiation research*. -2005. – Vol. 46. – P. 435-442.
- 3 Jel'-Faramavi N. Tooth enamel EPR dosimetry: optimization of EPR spectra recording parameters and effect of sample mass on spectral sensitivity // *Applied Radiation and Isotopes*. -2005 - Vol.62. - P. 207-211.
- 4 Rodzi M., Zhumadilov K., Ohtaki M., Ivannikov A., Bhattacharjee D., Fukumura A., Hoshi M. Estimation of background doses for the Peninsular Malaysia population by ESR dosimetry of tooth enamel // *Radiation and Environmental Biophysics*. - 2011. -Vol.50. -P.451-458. doi:10.1007/s00411-011-0358-9.
- 5 Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikov K.N., Zhumadilov Zh., Tojoda S., Zarlyganova D., Tel'evuhan E., Jendo S., Tanaka K., Mijadzava K., Okamoto, T., Hoshi, M. Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene // *Journal of radiation research*. -2006 - Vol.47. - P. 47-53.
- 6 Ivannikov A., Sanin D., Nalapko M., Skvorcov V., Stepanenko V., Cyb A., Tromp'er F., Zhumadilov K., Hoshi M. Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of radiation-induced signal amplitude // *Health Physics*. -2010 - Vol.98. - P. 345-351.

Н.С. Нұрсұлтанова, Қ.Ш. Жұмадилов

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### Төмен дозалы әсер ету ықпалын бағалау мәселесі

**Аннотация.** ЭПР спектрометриясының әдісінің мәні - радиацияның әсерінен тістердің эмалінде, сәулеленуіне және оның дозасына тәуелді, тұрақты радикалдар пайда болады. Бұл эмальді табиғи дозиметр ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Мұндай дозиметрде жинақталған доза туралы ақпаратты тістің ЭПР спектрін оқып алу арқылы аламыз. Табиғи және радиациялық ықпалдандырылған сигналдар ЭПР спектрометриясының негізгі компоненттері ретінде есептеледі. Зерттеу үшін соңғы буынды бұрғылау қондырғыларды қолданып емделген, стоматологиялық белгілермен жұлынған тістер алынады. Тістерді өңдеу кезінде бұрғылау қондырғыларының айналу жиілігі жоғары болған әсерінен тіс эмалінде парамагнит орталықтарын қалыптастырады. Механикалық индукцияланған (ықпалдандырылған) сигнал және радиациялық индукцияланған сигнал бірдей спектралды аймақта болғандықтан, олардың суперпозициясы дозиметрлік сигналдың амплитудасының ұлғаюына алып келеді, соның нәтижесінде тіс эмалінің ЭПР спектр көмегімен қалпына келтірілген дозаның арттыруына әкеледі.

**Түйін сөздер:** ЭПР, радикалдар, рак, дозиметр, тіс.

N. Nursultanova, K. Zhumadilov

L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

### The problem of assessing the effects of low-dose exposure

**Abstract.** The essence of the method of EPR spectrometry is that in the enamel of the teeth under the action of radiation produces stable long-lived radicals, which are dependent on the radiation and its dose. This allows the use of enamel as a natural dosimeter. Information on the accumulated dose in such a dosimeter is read by the EPR spectra of the teeth. The main components of EPR spectrometry are native and radiation-induced signals. For the study take teeth that were removed according to dental indications, the treatment of which was carried out with the latest generation of drilling machines. The impact of boron machines, when processing teeth with high revolutions of rotation, causes the formation of paramagnetic centers in the enamel of the teeth. Since the mechanically-induced signal is in the same spectral region with the radiation-induced signal, their superposition leads to an increase in the amplitude of the dosimetric signal and, as a consequence, to overestimate the dose reconstructed from the EPR spectra of the tooth enamel.

**Keywords:** EPR, radicals, cancer, dosimeter, teeth.

## References

- 1 Henning G., Herr Sh., Shheber E., Hirotiris, N. EPR dating of the fossil skull hominid from the Petralona cave, Greece // Nature. -1981. – Vol. 29. – P. 533-536.
- 2 Zhumadilov K., Ivannikov A., Skvorcov V., Stepanenko V., Zhumadilov Z., Jendo S., Tanaka K., Hoshi M. Tooth enamel EPR dosimetry: optimization of EPR spectra recording parameters and effect of sample mass on spectral sensitivity. // Journal of radiation research. -2005. – Vol. 46. – P. 435-442.
- 3 Jel’-Faramavi N. Tooth enamel EPR dosimetry: optimization of EPR spectra recording parameters and effect of sample mass on spectral sensitivity // Applied Radiation and Isotopes. -2005 - Vol.62. - P. 207-211.
- 4 Rodzi M., Zhumadilov K., Ohtaki M., Ivannikov A., Bhattacharjee D., Fukumura A., Hoshi M. Estimation of background doses for the Peninsular Malaysia population by ESR dosimetry of tooth enamel // Radiation and Environmental Biophysics. - 2011. -Vol.50. -P.451-458. doi:10.1007/s00411-011-0358-9.
- 5 Zhumadilov K., Ivannikov A., Apsalikhov K.N., Zhumadilov Zh., Tojoda S., Zarlyganova D., Tel’evuhan E., Jendo S., Tanaka K., Mijadzava K., Okamoto, T., Hoshi, M. Radiation dose estimation by tooth enamel EPR dosimetry for residents of Dolon and Bodene // Journal of radiation research. -2006 - Vol.47. - P. 47-53.
- 6 Ivannikov A., Sanin D., Nalapko M., Skvorcov V., Stepanenko V., Cyb A., Tromp’er F., Zhumadilov K., Hoshi M. Dental enamel EPR dosimetry: comparative testing of the spectra processing methods for determination of radiation-induced signal amplitude // Health Physics. -2010 - Vol.98. - P. 345-351.

### Сведения об авторах:

Нұрсұлтанова Н.С. - магистрант 2-го курса международной кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Жұмадилов К.Ш. - PhD, профессор, заведующий международной кафедрой ядерной физики, новых материалов и технологий, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

Нұрсұлтанова Н. - 2nd year Master student of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Жұмадилов К. - PhD, Professor, Head of the International Department of Nuclear Physics, New Materials and Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str., 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 23.05.2019