

DOI: 10.31082/1728-452X-2021-223-1-22-27

УДК 161.31:616-08-039.71:59.12

ЭМАЛЬ ЗУБОВ ЧЕЛОВЕКА КАК ТЕСТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Айтхажа Б. БИГАЛИЕВ¹, <https://orcid.org/0000-0003-4274-6305>,Клара З. ШАЛАБАЕВА¹, <https://orcid.org/0000-0001-6836-4829>,Алма У. ЗАМУРАЕВА², <https://orcid.org/0000-0003-0402-0706>,Куралай Ж. ЖУМАБАЕВА¹, <https://orcid.org/0000-0001-8080-8752>,Лэйла М. АДИЛОВА³, <https://orcid.org/0000-0001-8048-6116>¹НАО «Казахский Национальный университет им. аль-Фараби», г. Алматы, Республика Казахстан,²АО «Медицинский университет Астана», г. Нур-Султан, Республика Казахстан,³НАО «Казахский Национальный медицинский университет им С.Д. Асфендиярова», г. Алматы, Республика Казахстан

Бигалиев А.Б.

Техногенное радиоактивное загрязнение внешней среды оказывает радиационное воздействие на растительный и животный мир, в том числе и человека. Радионуклиды, поступающие в биосферу, становятся источником внешнего, контактного и внутреннего облучения в самых различных сочетаниях. Дозиметрия на основе ЭПР является методом, который позволяет сделать ретроспективную оценку индивидуальной дозы.

Цель исследования – оценка отдаленных последствий влияния радиационного загрязнения территорий, прилегающих к полигону, на здоровье населения методами биотестирования.

Материал и методы. Проведено рекогносцировочное и радиоэкологическое обследование объектов окружающей среды с использованием аналитических методик, что позволило определить количественное содержание токсичных компонентов, приоритетных загрязнителей и радиоактивных изотопов.

Объектами исследования являются районы Западно-Казахстанской области (ЗКО) Бокейординский и Жанибекский, прилегающие к полигону Капустин Яр. Изучено значение объемной активности природных и техногенных радионуклидов в пробах почвы, питьевой воды и биосубстратах (зубы, образцы периферической крови человека) из населенных пунктов обследованных районов.

Результаты и обсуждение. Измерения гамма-излучений показали, что по периметру территории полигона и в близлежащих населенных пунктах уровень радиации находится в пределах 0,06-0,14 мкЗв/ч. Незначительное превышение уровня радиоактивности сохраняется вблизи падения ракет в Бокейординском районе. Изучены также показатели общей заболеваемости взрослого населения, материнской и детской смертности в указанных районах. Установлено у жителей Бокейординского района с достоверностью $p=95\%$ в исследованных зубах бета- и гамма-активность меньше естественного уровня и свидетельствует о том, что содержание радионуклидов в исследованных зубах не выше их естественного уровня. Заметное превышение активности радионуклидов K^{40} и Ra^{226} отмечается у жителей Жанибекского района.

Выводы. В обследованных районах области отмечается неудовлетворительное состояние здоровья детей и женщин, особенно фертильного возраста, высокий уровень первичной заболеваемости, материнской смертности; отмечается тенденция роста экзозависимых болезней человека (ранее не регистрируемые формы онкозаболеваний, ВГР, болезней кроветворной, нервной систем). Выводы могут быть использованы для реализации мероприятий по улучшению экологического состояния региона и здоровья населения.

Ключевые слова: радионуклиды, радиоактивность, биосубстрат, полигон, экология, экзозависимые болезни.

Для цитирования: Бигалиев А.Б., Шалабаева К.З., Замураева А.У., Жумабаева К., Адилова Л.М. Эмаль зубов человека как тест для оценки последствий радиационного загрязнения среды обитания // Медицина (Алматы). 2021;1(223):22-27 doi: 10.31082/1728-452X-2021-223-1-22-27

Т Ы Ж Ы Р Ы М

АДАМНЫҢ ТІСТЕР ЭМАЛІ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ЛАСТАНУЫНЫҢ САЛДАРЫН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ТЕСТ-ЖУЙЕ РЕТІНДЕ

Айтхажа Б. БИГАЛИЕВ¹, <https://orcid.org/0000-0003-4274-6305>,Клара З. ШАЛАБАЕВА¹, <https://orcid.org/0000-0001-6836-4829>,Алма У. ЗАМУРАЕВА², <https://orcid.org/0000-0003-0402-0706>,Куралай Ж. ЖУМАБАЕВА¹, <https://orcid.org/0000-0001-8080-8752>,Лэйла М. АДИЛОВА³, <https://orcid.org/0000-0001-8048-6116>¹«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» ҚеАҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы,²Астана медициналық университеті, Нур-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы,³«С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті» ҚеАҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Қоршаған ортаның техногендік радиоактивті ластануы өсімдіктер мен жануарлар әлеміне, оның ішінде адамға да радиациялық әсер етеді. Биосфераға түсетін радионуклидтер әр түрлі комбинациялар түрінде сыртқы, контактілі және ішкі сәулеленудің көзі болады. ЭПР негізіндегі дозиметрия жеке дозаны ретроспективті бағалауға мүмкіндік беретін әдіс болып табылады.

Контакты: Бигалиев Айтхажа Бигалиевич, доктор биологических наук, профессор кафедры КазНУ им. Аль-Фараби, г. Алматы, e-mail: aitkhazha@gmail.com

Contacts: Bigaliev Aitkhazha Bigalievich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Al-Farabi KazNU, Almaty, e-mail: aitkhazha@gmail.com

Поступила: 29.01.2021
Принята: 15.02.2021

Зерттеудің мақсаты. Биотестілеу әдістері арқылы полигонға іргелес аумақтардың радиациялық ластануының халық денсаулығына кейін әсер етуінің салдарын бағалау.

Материал және әдістері. Аналитикалық әдістерді қолдана отырып, қоршаған орта объектілеріне барлау және радиоэкологиялық зерттеулер жүргізілді, бұл улы компоненттердің, басым ластағыштар мен радиоактивті изотоптардың сандық құрамын анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нысандары ретінде Капустин Яр полигонына іргелес орналасқан Батыс Қазақстан облысының (БҚО) Бөкей ордасы және Жәнібек аудандары қарастырылды. Зерттелген аудандардың елді мекендерінен топырақ, ауыз су сынамаларындағы және биосубстраттардағы (тістер, адамның перифериялық қанының үлгілері) табиғи және техногендік радионуклидтердің көлемдік белсенділігінің мәні зерттелді.

Нәтижелері және талқылауы. Гамма-сәулелерін өлшеу көрсеткендей, полигон аумағының периметрі бойынша және жақын орналасқан елді мекендерде радиация деңгейі 0,06–0,14 мкЗв/сағ шегінде. Радиоактивтілік деңгейінің аздап артқандығы Бөкей Ордасы ауданында, яғни зымырандардың құлаған жақын жерде сақталған. Сондай-ақ, көрсетілген аудандардағы ересек тұрғындардың жалпы аурушандығының, ана мен баланың өлім-жітім көрсеткіштері зерттелген. Бөкейорда ауданы тұрғындарынан $p=95\%$ дәлдікпен белгілі болғандай, зерттелген тістердегі бета - және гамма белсенділік табиғи деңгейден төмен, бұл зерттелген тістердегі радионуклидтер мөлшерінің олардың табиғи деңгейінен жоғары емес екенін көрсетеді. Радионуклидтер белсенділігінің $K 40$ және $Ra 226$ -ға артуы Жәнібек ауданының тұрғындарында елеулі байқалады.

Қорытынды. Облыстың тексерілген аудандарында балалар мен әйелдердің, әсіресе фертильдік жастағы әйелдердің денсаулығының қанағаттанарлықсыз жағдайы, бастапқы сырқаттанушылық пен ана өлімі-жітімінің жоғары деңгейі байқалады; адамның экологияға тәуелді ауруларының өсу үрдісі артқан (бұрын тіркелмеген онкологиялық ауру түрлері, туа біткен кемістіктің дамуы, қан түзу, жүйке жүйесі ауруларының түрлері). Қорытындылар өңірдің экологиялық жай-күйін және халықтың денсаулығын жақсарту жөніндегі іс-шараларды іске асыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Негізгі сөздер: радионуклидтер, радиоактивтілік, биосубстрат, полигон, экология, экологияға тәуелді аурулар.

S U M M A R Y

HUMAN TEETH ENAMEL AS A TEST FOR ASSESSING THE CONSEQUENCES OF RADIATION POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

Aitkhazha B BIGALIEV¹, <https://orcid.org/0000-0003-4274-6305>,

Clara Z SHALABAYEVA¹, <https://orcid.org/0000-0001-6836-4829>,

Alma U ZAMURAEVA², <https://orcid.org/0000-0003-0402-0706>,

Kuralay Zh ZHUMABAYEVA¹, <https://orcid.org/0000-0001-8080-8752>,

Leila M ADILOVA³, <https://orcid.org/0000-0001-8048-6116>

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan,

²Astana Medical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan,

³Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Technogenic radioactive contamination of the external environment has a radiation effect on flora and fauna, including humans. Radionuclides entering the biosphere become a source of external, contact and internal radiation in a variety of combinations. The electron paramagnetic resonance dosimetry is a technique that allows a retrospective assessment of an individual dose to be made.

Purpose of the study. Assessment of the long-term consequences of the impact of radiation contamination of the territories adjacent to the landfill on the health of the population using biotesting methods.

Material and methods. A reconnaissance and radioecological survey of environmental objects was carried out using analytical methods, which made it possible to determine the quantitative content of toxic components, priority pollutants and radioactive isotopes.

The objects of study are the Bokeyordinsky and Zhanibeksky districts of the West Kazakhstan region (WKR), adjacent to the Kapustin Yar test site. The values of the volumetric activity of natural and technogenic radionuclides in soil samples, drinking water and biosubstrates (teeth, samples of human peripheral blood) from settlements of the surveyed areas were studied.

Results and discussion. Measurements of gamma radiation showed that along the perimeter of the polygon and in nearby settlements, the radiation level is in the range of 0.06–0.14 $\mu\text{Sv/h}$. An insignificant excess of the level of radioactivity persists near the fall of missiles in the Bokeyordin region. The indicators of the general morbidity of the adult population of maternal and child mortality in the indicated regions were also studied. It was found in the inhabitants of the Bokeyordinsky district with a reliability of $p = 95\%$ in the studied teeth, beta and gamma activity is less than the natural level and indicates that the content of radionuclides in the studied teeth is not higher than their natural level. A noticeable excess of the activity of radionuclides $K40$ and $Ra226$ is noted among residents of Zhanibeksky district.

Conclusions. In the surveyed districts of the region, there is an unsatisfactory state of health of children and women, especially of fertile age, a high level of primary morbidity, maternal mortality; there is a tendency for the growth of eco-dependent human diseases (previously unrecorded forms of oncological diseases, congenital malformations, diseases of the hematopoietic and nervous systems). The conclusions can be used to implement measures to improve the ecological state of the region and the health of the population.

Keywords: radionuclides, radioactivity, biosubstrate, polygon, ecology, eco-dependent diseases.

For reference: Bigaliev AB, Shalabayeva KZ, Zamuraeva AU, Zhumabayeva KZh, Adilova LM. Human teeth enamel as a test for assessing the consequences of radiation pollution of the environment. *Meditsina (Almaty) = Medicine (Almaty)*. 2021;1(223):22-27 (In Russ.). doi: 10.31082/1728-452X-2021-223-1-22-27

Влияние одного из компонентов, обуславливающих напряженность экологической ситуации длительно-го ионизирующего излучения на организм, в целом, достаточно изучено. Техногенное радиоактивное загрязнение внешней среды оказывает радиационное воздействие на растительный и животный мир, в том числе и человека [1, 2, 3]. Антропогенное нарушение земной коры сопровождается перераспределением и концентрированием естественных радионуклидов. Радионуклиды, поступающие в биосферу, становятся источником внешнего, контактного и внутреннего облучения в самых различных сочетаниях [4, 5, 6]. Дозиметрия на основе ЭПР является методом, который позволяет сделать ретроспективную оценку индивидуальной дозы. Метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) основан на резонансном поглощении сверхвысокочастотного (СВЧ) поля образцом, содержащим неспаренные электроны (свободные радикалы, парамагнитные ионы, атомы водорода и кислорода и т.д.), помещенным в магнитное поле определенной величины. Ценность зубной эмали для ЭПР-дозиметрии обусловлена тем, что при ее облучении возникают свободные радикалы (CO_2), время жизни которых при +25 градусах равно 10^7 ; концентрация же этих свободных радикалов пропорциональна поглощенной дозе до определенных ее значений.

Цель исследования – оценка отдаленных последствий влияния радиационного загрязнения территорий, прилегающих к полигону, на здоровье населения методами биотестирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

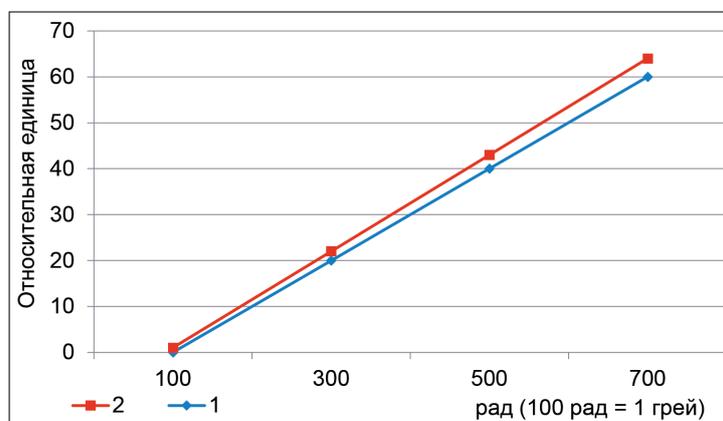
Нами изучены показатели общей заболеваемости взрослого населения двух районов Западно-Казахстанской области (ЗКО), прилегающих к полигону «Капустин Яр»: Бокейординского и Жанибекского. Общая заболеваемость, показатели материнской и детской смертности взяты из годовых отчетов лечебно-профилактических учреждений и данных

Департамента здравоохранения ЗКО. Основные показатели стоматологической заболеваемости (распространенность, интенсивность кариеса) представлена также статистическими данными районной стоматологической поликлиники.

В указанных населенных пунктах обследовано в индикаторных группах по 30 человек для определения доз облучения. Индивидуальные дозы облучения изучались в образцах удаленных зубов у жителей, проживающих вблизи полигона «Капустин Яр» от 10 и больше 30 лет методом ЭПР-дозиметрии. Для определения поглощенной дозы методом ЭПР снимали спектр ЭПР исходной эмали, затем проводили 4-5 облучений известными дозами на калиброванном гамма-источнике, затем записывали спектры ЭПР. Измерения спектров ЭПР проводили на модернизированном спектрометре ИРЭС-1001 (2014 г.), работающем в 3-сантиметровом диапазоне длин волн. Измерения бета- и гамма-активности порошка зубов проводили на комплексе «Прогресс» (2013), предназначенном для измерения бета- и гамма-излучающих нуклидов в счетных образцах спектрометрическим методом. Активность радионуклида в используемой пробе определяли обработкой полученной спектрограммы с помощью специальной программы, позволяющей идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих радионуклидов в пробе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты ЭПР-дозиметрии. В нашем эксперименте дозы дополнительного гамма-излучения были 150, 350, 550, 750 рад (100 рад=1 грей). Снимали спектры ЭПР необлученного образца и облученного указанными дозами. Далее строилась зависимость интенсивности сигнала ЭПР эмали зубов от дозы полученного облучения. В качестве иллюстрации на рисунке приведены зависимости амплитуды сигнала ЭПР эмали зубов двух районов (кривая 1 - Бокейординского, кривая 2 - Жанибекского). Определение поглощенной дозы описано в материалах и методах. Фактические значения приведены на рисунке 1.



кривая 1 - Бокейординский район, кривая 2 – Жанибекский район
Рисунок 1 - Относительные величины доз в зависимости от амплитуды сигнала ЭПР эмали зубов

Из рисунка 1 следует, что относительные величины полученных доз в зависимости от амплитуды сигнала ЭПР эмали зубов двух районов практически не отличаются. Заслуживает внимания тот факт, что доза от 25-30 рад и более, обнаруженная у жителей обследованных регионов, в среднем превышает среднестатистические дозы для ана-

логичных территорий [9-12]. Для определения активности радионуклидов в твердых тканях зубов нами проведены измерения бета- и гамма-активности в радиологической лаборатории Научно-практического центра санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга, г. Алматы, Казахстан. Результаты приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 - Активность радионуклидов в твердых тканях зубов жителей Бокейординского района ЗКО

Радионуклид	Активность сырой пробы, Бк/кг	Абсолютное значение активности, Бк/кг	Погрешность ($P \geq; \leq 0,95$)
Cs ¹³⁷	менее 49	14,0±35	= 0,5
K ⁴⁰	менее 3,2 е+0,2	0,1±318	≠ 0,5
Ra ²²⁶	менее 95	19,6±75	≥0,5

Дата отбора пробы: 01.08.2018 г.

Таблица 2 - Активность радионуклидов в твердых тканях зубов жителей Жанибекского района

Радионуклид	Активность сырой пробы, Бк/кг	Абсолютное значение активности, Бк/кг	Погрешность ($P \geq; \leq 0,95$)
Cs ¹³⁷	менее 32	12,0±32	≥0,5
K ⁴⁰	менее 6,6е +0,2	314,0±346	≤0,5
Ra ²²⁶	менее 12е +0,2	40,0±76	≥0,5

Дата отбора пробы: 02.08.2018 г.

Как следует из данных таблиц 1, 2 жителей Бокейординского района с достоверностью $p=95\%$ в исследованных зубах бета- и гамма-активность меньше естественного уровня и свидетельствует о том, что содержание радионуклидов в исследованных зубах не выше их естественного уровня. В свою очередь заметное превышение активности радионуклидов K⁴⁰ и Ra²²⁶ отмечается у жителей Жанибекского района.

Анализ заболеваемости населения обследованных районов. Отмечается негативное влияние полигона. В результате растут так называемая экозаболеваемость и

смертность от отдельных причин. Изучение структуры заболеваемости населения показало значительную зависимость от состояния окружающей среды (экоболезни - системы кровообращения, рак органов дыхания, врожденные пороки развития (ВПП), нервно-психическая патология), что подтверждают и данные литературы [13]. Показатели младенческой смертности – один из важнейших показателей здоровья населения, в первую очередь, беременных женщин, молодых матерей и их детей. Нами изучены и рассчитаны показатели младенческой смертности в городах и районах ЗКО за 2017 – 2018 годы (табл. 3).

Таблица 3 - Динамика убывания младенческой смертности в Западно-Казахстанской области за 2015 – 2018 годы

№	Годы	Показатель	Абсолютное убывание	Темп убывания
1	2015	14,9	-10	6,2
2	2016	10,8	-4,1	27,5
3	2017	10,5	-0,3	0,2
4	2018	9,5	-1	9,5

Данная таблица дает характеристику младенческой смертности и тенденцию ежегодного снижения этого показателя. Самый высокий темп убыли был в 2015 году и составил 27,5%. Также видно, что показатель младенческой смертности в 2015 году самый высокий в Тайпакском районе (21,1% - зона полигона), а самый низкий в Сырымском районе (12,3% - отдаленный район). Особо необходимо отметить ранговое расположение показателя младенческой смертности Бокейординского района: 2015 г. – 17,5%; 2016 г. – 4,8%; 2017 г. – 11,3%; 2018 г. – 6,6%. Такие скачки можно объяснить экологическими проблемами, некавалифицированной медицинской помощью и другими причинами. Таким образом, проведенное исследование по анализу младенческой смертности показало, что с 2015 по 2018 гг. идет ежегодная тенденция снижения младенческой смертности как по области, так и по обследованным районам. Эти результаты подтверждают и данные литературы. Результаты исследования, проведенные Е.У. Куандыковым и др. [14, 15, 17, 18] свидетельствуют о высокой частоте перинатальной патологии у детей, рожденных от беременных из группы риска, по рождению детей с ВПП и наследственной патологией.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Индивидуальные дозы облучения изучались в образцах удаленных зубов у жителей, проживающих вблизи полигона «Капустин Яр» от 10 и больше 30 лет, методом ЭПР-дозиметрии. Основы ЭПР-дозиметрии были изложены в работах [7, 8]. Сравнительный анализ данных литературы показывает наличие аналогичных эффектов на территориях с повышенным радиационным фоном естественного и техногенного происхождения [18-25]. Настоящее исследование было направлено на оценку экологического сценария в полузасушливом регионе, расположенном на северо-востоке Бразилии. Измеряли концентрацию металлов, альфа- и бета-излучение в воде, а также концентрацию радона в помещении и гамма-излучателей (U, K и Th).

В наших исследованиях мы также провели анализы питьевой и подземных вод обследованных районов. Полученные результаты, как отмечают авторы настоящего исследования, подчеркивают роль высокой фоновой радиоактивности и могут помочь объяснить обострение заболеваемости раком населения на подобных территориях. Проведен сравнительный анализ результатов отечественных и зарубежных исследователей за последние годы по изучаемой проблеме. Так в работах, аналогичных нашей работе,

приведены и обсуждены несколько методов представления результатов гамма-спектрометрических измерений проб окружающей среды для расчета доз [9, 11]. Было показано, что первичные результаты измерений, модифицированные в соответствии с пределом количественной оценки, могут привести к занижению годовой дозы. С другой стороны, наилучшие оценки приводят к завышению годовой дозы. Годовые дозы, рассчитанные по результатам измерений, полученным в соответствии с рекомендованной ЕС процедурой, которая не справляется с неопределенностями, колеблются между заниженной и завышенной оценкой в зависимости от частоты результатов измерений, превышающих предел обнаружения. Как отмечают авторы, среднее значение по результатам первичных измерений примерно на 80%, среднее значение, полученное байесовским задним числом на 85% и лечение в соответствии с рекомендацией ЕС на 89%, недооценивают значение годовых доз облучения. Это подтверждает объективность наших результатов по измерению полученных доз облучения с достоверностью 95% в Бокейординском и 75% в Жанибекском районах.

ВЫВОДЫ

1. У жителей Бокейординского района с достоверностью $p=95\%$ в исследованных зубах бета- и гамма-актив-

ность меньше естественного уровня и свидетельствует о том, что содержание радионуклидов в исследованных зубах не выше их естественного уровня.

2. Заметное превышение активности радионуклидов K^{40} и Ra^{226} отмечается у жителей Жанибекского района.

3. В области отмечается неудовлетворительное состояние здоровья детей и женщин, особенно фертильного возраста, высокий уровень первичной заболеваемости, материнской смертности, отмечается тенденция роста экозависимых болезней человека (ранее не регистрируемые формы онкозаболеваний, ВПР, болезней кроветворной, нервной систем). Выводы могут быть использованы для реализации мероприятий по улучшению экологического состояния региона и здоровья населения.

Прозрачность данной статьи

Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Все авторы принимали участие в разработке концепции и написании статьи. Окончательная версия рукописи была проверена и одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за статью.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Maslins D.V., Maslins V.D. Hygienical estimation of risk of violation of health of population of industrial city from influence of factors of environment // *Hygiene and sanitation*. 2007;5:32-34
- Aguilera I., Pedersen M., Garcia-Esteban R., Ballester F. et al. Early-Life Exposure to Outdoor Air Pollution and Respiratory Health, Ear Infections, and Eczema in Infants from the INMA Study // *Environ Health Perspect*. 2013 Mar;121(3):387–392. doi: 10.1289/ehp.1205281
- Bigaliev A.B. Ecological genetics, monograph. Almaty: publisher "Kazakh University". 2016. 245 p.
- Мухаметжанова З.Т. Современное состояние проблемы загрязнения окружающей среды // *Гигиена труда и медицинская экология*. 2017;2(55):11-20
- Островская С.С., Шаторная В.Ф., Бельская Ю.А. Влияния тяжелых металлов и радиации на кроветворение у крыс // *Світ мед. та біол.* 2014; 47(4):177–179
- Serzhanova Z.B., Aidarkhanova A.K., Lukashenko S.N., Lyakhova O.N., Timonova L.V., Raimkanova A.M. Researching of tritium speciation in soils of "Balapan" site // *J Environ. Radioact*. 2018;192:621-627. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.02.016
- Ishii H, Ikeya M, Okano M. ESR Dosimetry of Teeth of Resident Close to Chernobyl Reactor Accident. *J. of Nuclear Science and Technology*. 1990;27(12):1153-1155. doi: 10.1080/18811248.1990.9731308
- Pass B., Aldrich J.E. Dental enamel as in vivo radiation dosimeter. *Med. Phys.* 1985. Handbook. 125 p.
- Zorko B., Korun M., Canadas JCM, Nicouland-Gouin V. et al. Systematic influences of gamma-ray spectrometry data near the decision threshold for radioactivity measurements in the environment // *J of Environmental Radioactivity*. 2016;158-159:119-128. doi: org/10.1016/j.jenvrad.2016.04.009
- Zhumadilov K., Ivannikov A., Stepanenko V., Zharlyganova D., Toyoda S., Zhumadilov Z., Hoshi M. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site // *J. Radiat. Res.* 2013;54(4):775-779. doi: 10.1093/jrr/rrt008
- Marcon A.E., Navoni J.A., de Oliveira Galvano M.F., et al. Mutagenic potential assessment associated with human exposure

REFERENCES

- Maslins DV, Maslins VD. Hygienical estimation of risk of violation of health of population of industrial city from influence of factors of environment. *Hygiene and sanitation*. 2007;5:32-34
- Aguilera I, Pedersen M, Garcia-Esteban R, Ballester F, et al. Early-Life Exposure to Outdoor Air Pollution and Respiratory Health, Ear Infections, and Eczema in Infants from the INMA Study. *Environ Health Perspect*. 2013;121(3):387–392. doi: 10.1289/ehp.1205281
- Bigaliev AB. Ecological genetics, monograph. Almaty: Publisher "Kazakh University", 2016:245.
- Muhametzhanova ZT. The current state of the problem of environmental pollution. *Gigiena truda i meditsinskaia ekologiya = Occupational hygiene and medical ecology*. 2017;2(55):11-20. (In Russ.)
- Ostrovskaya SS, Shatornaya VF, Belskaya YuA. Effects of heavy metals and radiation on rat's hemotosis. *Svit meditsini ta biologii = World of Medicine and Biology*. 2014;47(4):177–179 [In Russ.]
- Serzhanova ZB, Aidarkhanova AK, Lukashenko SN, Lyakhova ON, Timonova LV, Raimkanova AM. Researching of tritium speciation in soils of "Balapan" site. *J Environ. Radioact*. 2018;192:621-627. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.02.016.
- Ishii H, Ikeya M, Okano M. ESR Dosimetry of Teeth of Resident Close to Chernobyl Reactor Accident. *J. of Nuclear Science and Technology*. 1990;27(12):1153-1155. doi: 10.1080/18811248.1990.9731308
- Pass B, Aldrich JE. Dental enamel as in vivo radiation dosimeter. *Med. Phys.*1985. Handbook. 125
- Zorko B, Korun M, Canadas JCM, Nicouland-Gouin V, et al. Systematic influences of gamma-ray spectrometry data near the decision threshold for radioactivity measurements in the environment. *J of Environmental Radioactivity*. 2016;158-159:119-128. doi: org/10.1016/j.jenvrad.2016.04.009
- Zhumadilov K, Ivannikov A, Stepanenko V, Zharlyganova D, Toyoda S, Zhumadilov Z, Hoshi M. ESR dosimetry study of population in the vicinity of the Semipalatinsk Nuclear Test Site. *J. Radiat. Res.* 2013;54(4):775-779. doi: 10.1093/jrr/rrt008
- Marcon AE, Navoni JA, de Oliveira Galvano MF, et al. Mutagenic potential assessment associated with human exposure to natural

- to natural radioactivity. *Chemosphere*. 2017;167:36-43. PMID: 27705811. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.136
12. Hui Lu, Qi Zhao, Jiang Guo, Binghui Zeng, Xinlin Yu, Dongsheng Yu & Wei Zhao. Direct radiation-induced effects on dental hard tissue // *Radiation Oncology*. 2019;14(1):5. doi: 10.1186/s13014-019-1208-1
13. Mary P, Walker D.S., Brian Wichman, An-Lin Cheng, James Coster, Karen B. Williams. Impact of radiotherapy dose on dentition breakdown in head and neck cancer patients // *Practical Radiation Oncology*. 2011;1:142-148
14. Куандыков Е.У., Тастемирова Б.У., Феклистова Н.А. и др. Клинико-генетическое и биохимическое обследование беременных из групп риска по рождению детей с врожденной и наследственной патологией // Доклады второго Всесоюзного съезда медицинских генетиков. Алма-Ата, 1990. 430 с.
15. Markabayeva A., Bauer S., Pivina L., Bjørklund G., Chirumbolo S., Kerimkulova A., Semenova Y., Belikhina T. Increased prevalence of essential hypertension in areas previously exposed to fallout due to nuclear weapons testing at the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan // *Environ. Res.* 2018;167:129-135. doi: 10.1016/j.envres.2018.07.016
16. Бигалиев А.Б., Шалабаева К.З., Шимшиков Б.Е., Кобегенова С.С., Адилова Л.М., Кожакметова А.Н., Шарахметов С., Бурханова М.Н. Эколого-генетическая оценка последствий влияния радиации на загрязненных территориях // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24:60-66. doi: 10.18699/VJ20.675
17. Thorn J.J., Hansen H.S., Specht L., Bastholt L. Osteoradionecrosis of the jaws: clinical characteristics and relation to the field of irradiation // *J Oral Maxillofac Surg*. 2000;58(10):1088-1093. doi: 10.1053/joms.2000.9562
18. Yuko Kimura, Yuka Okubo, Naomi Hayashida, Jumpei Takahashi, Alexander Gutevich, Sergiy Chorniy, Takashi Kudo, and Noboru Takamura. Evaluation of the Relationship between Current Internal ¹³⁷Cs Exposure in Residents and Soil Contamination West of Chernobyl in Northern Ukraine // *PLoS One*. 2015;10(9):e0139007. doi: 10.1371/journal.pone.0139007
19. Inge Schmitz-Feuerhake, Christopher Busby, and Sebastian Pflugbeil. Genetic radiation risks: a neglected topic in the low dose debate // *Environmental health and toxicology*. 2016;31:e2016001. doi:10.5620/eh.t.e2016001
20. Hassan Alinaghizadeh, Robert Wålinder, Eva Vingård, and Martin Tondel. Total cancer incidence in relation to ¹³⁷Cs fallout in the most contaminated counties in Sweden after the Chernobyl nuclear power plant accident: a register-based study // *BMJ Open*. 2016; 6(12): e011924. doi: 10.1136/bmjopen-2016-011924
21. Tetsuji Imanaka, Masayoshi Yamamoto, Kenta Kawai, Aya Sakaguchi, Masaharu Hoshi, Nailya Chaizhunusova, Kazbek Apsalikov. Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2010;49(4):673-684. doi: 10.1007/s00411-010-0301-5
22. Sandra Ribeiro de Barros da Cunha, Pedro Augusto Mendes Ramos, Ana Cristina Aló Nesrallah, Cláudia Joffily Parahyba, Eduardo Rodrigues Fregnani, Ana Cecília Corrêa Aranha. The Effects of Ionizing Radiation on the Oral Cavity // *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2015;16(8):679-687. doi: 10.5005/jp-journals-10024-1740
23. Hoshi M., Saimova A.Zh. Problem in assessing the effects of radiation with "low doses". Review // *Наука и здравоохранение*. 2017;2:115-127
24. Djokovic-Davidovic J., Milovanovic A., Milovanovic J., Antic V. Gajic. Analysis of chromosomal aberrations frequency, haematological parameters and received doses by nuclear medicine professionals // *J. BUON*. 2016;21(5):1307-1315. PMID: 27837637
- radioactivity. *Chemosphere*. 2017;167:36-43. PMID: 27705811. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.09.136
12. Hui Lu, Qi Zhao, Jiang Guo, Binghui Zeng, Xinlin Yu, Dongsheng Yu & Wei Zhao. Direct radiation-induced effects on dental hard tissue. *Radiation Oncology*. 2019;14(1):5. doi: 10.1186/s13014-019-1208-1
13. Mary P, Walker DS, Brian Wichman, An-Lin Cheng, James Coster, Karen B. Williams. Impact of radiotherapy dose on dentition breakdown in head and neck cancer patients. *Practical Radiation Oncology*. 2011;1:142-148
14. Kuandykov EU, Tastemirova BU, Feklistova NA et al. *Kliniko-geneticheskoe i biokhimicheskoe obsledovanie beremennykh iz grupp riska po rozhdeniiu detei s vrozhdennoi i nasledstvennoi patologiei. Doklady vtorogo Vsesoiuznogo sieezda meditsinskikh genetikov* [Clinical-genetic and biochemical examination of pregnant women from the risk groups for the birth of children with congenital and hereditary pathology. Reports of the Second All-Union Congress of Medical Genetics]. Alma-Ata. 1990:430
15. Markabayeva A, Bauer S, Pivina L, Bjørklund G, Chirumbolo S, Kerimkulova A, Semenova Y, Belikhina T. Increased prevalence of essential hypertension in areas previously exposed to fallout due to nuclear weapons testing at the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan. *Environ. Res.* 2018;167:129-135. doi: 10.1016/j.envres.2018.07.016
16. Bigaliev AB, Shalabayeva KZ, Shimshikov BE, Kobegenova SS, Adilova LM, Kozhakhmetova AN, Sharakhmetov S, Burkhanova MN. Ecological and genetic assessment of the consequences of radiation influence on contaminated areas. *Vavilovskii Zhurnal Genet Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(7):794-801. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ20.675
17. Thorn J.J., Hansen H.S., Specht L., Bastholt L. Osteoradionecrosis of the jaws: clinical characteristics and relation to the field of irradiation. *J Oral Maxillofac Surg* 2000;58(10):1088-1093. doi: 10.1053/joms.2000.9562
18. Yuko Kimura, Yuka Okubo, Naomi Hayashida, Jumpei Takahashi, Alexander Gutevich, Sergiy Chorniy, Takashi Kudo, and Noboru Takamura. Evaluation of the Relationship between Current Internal ¹³⁷Cs Exposure in Residents and Soil Contamination West of Chernobyl in Northern Ukraine. *PLoS One*. 2015;10(9):e0139007. doi:10.1371/journal.pone.0139007
19. Inge Schmitz-Feuerhake, Christopher Busby, and Sebastian Pflugbeil. Genetic radiation risks: a neglected topic in the low dose debate. *Environmental health and toxicology*. 2016; 31: e2016001. doi:10.5620/eh.t.e2016001
20. Hassan Alinaghizadeh, Robert Wålinder, Eva Vingård, and Martin Tondel. Total cancer incidence in relation to ¹³⁷Cs fallout in the most contaminated counties in Sweden after the Chernobyl nuclear power plant accident: a register-based study. *BMJ Open*. 2016; 6(12): e011924. doi: 10.1136/bmjopen-2016-011924
21. Tetsuji Imanaka, Masayoshi Yamamoto, Kenta Kawai, Aya Sakaguchi, Masaharu Hoshi, Nailya Chaizhunusova, Kazbek Apsalikov. Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2010;49(4):673-684. doi: 10.1007/s00411-010-0301-5
22. Sandra Ribeiro de Barros da Cunha, Pedro Augusto Mendes Ramos, Ana Cristina Aló Nesrallah, Cláudia Joffily Parahyba, Eduardo Rodrigues Fregnani, Ana Cecília Corrêa Aranha. The Effects of Ionizing Radiation on the Oral Cavity. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. August 2015;16(8):679-687. doi: 10.5005/jp-journals-10024-1740
23. Hoshi M, Saimova AZh. Problem in assessing the effects of radiation with "low doses". Review. *Nauka i Zdravookhranenie = Science & Healthcare*. 2017;2:115-127 (In Russ.)
24. Djokovic-Davidovic J, Milovanovic A, Milovanovic J, Antic V Gajic. Analysis of chromosomal aberrations frequency, haematological parameters and received doses by nuclear medicine professionals. *J BUON*. 2016; 21(5):1307-1315. PMID: 27837637