

Уран өндірісі маңында тұратын халықтың биологиялық сынамаларындағы уранның мөлшерін бағалау

Аңдатпа. Өндірістік қалдықтармен қоршаған ортаның ластануы, қазіргі таңдағы өзекті мәселелердің бірі. Сол себепті радиоактивті қалдықтар қоймасының маңында тұратын тұрғындар үшін, оның ұзақ жылдар бойына адам ағзасына тигізетін әсерін зерттеп, бұл мәселені шешу жолдарын анықтау маңызды болып табылады.

Мақалада радиоактивті қалдықтар қоймасы аймақтарындағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселелеріне, еліміздегі радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарының қазіргі жағдайы туралы мәліметтерге шолу жасалған. Сонымен қатар радионуклидтердің, негізінен, уран қатарының қоршаған орта объектілерінде қозғалу жолдарына сипаттама беріліп, адам ағзасындағы радионуклидтердің мөлшерін бағалаудың және сәулелену дозасын есептеудің негізгі тәсілдеріне шолу жасалған. Басты назар биологиялық сынамалардағы (шаш, тырнақ, зәр) уранды анықтауға аударылды.

Түйін сөздер: радиация, уран, радиоактивті қалдықтар, биологиялық сынама, дозалық жүктеме, радионуклидтер.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-143-2-27-38

Кіріспе

Дүниежүзілік ядролық қауымдастықтың (WNA) мәліметтеріне сәйкес, 2020 жылы Қазақстан 19,8 мың тонна уран өндірді, бұл әлемдік уранның жалпы көлемінің 41 пайызын құрады [1]. Уран кен орындары негізінен еліміздің 4 аймағында шоғырланған (кесте 1).

Еліміздегі уран өндірісінің радиоактивті қалдық қоймалары Ақтауда (бұрынғы Каспий тау-кен металлургиялық комбинатының қалдық қоймасы), Степногор (Степногор гидрометаллургиялық зауытының қалдық қоймасы) және Өскеменде (Үлбі металлургиялық зауытының қалдық қоймасы) орналасқан. Радиоактивті қалдықтар радиоактивті заттардың құрамымен және олардың белсенділігінің концентрациясымен ғана емес, сонымен қатар физикалық және химиялық қасиеттерімен де ерекшеленеді. Барлық радиоактивті қалдықтардың адамға және қоршаған ортаға деген ықтимал қауіптілігі болады. Бұл ықтимал қауіптілік деңгейі әртүрлі болуы мүмкін.

Кесте 1

Уран кені объектілері мен радиоактивті қалдықтардың аймақтар бойынша таралуы [2]

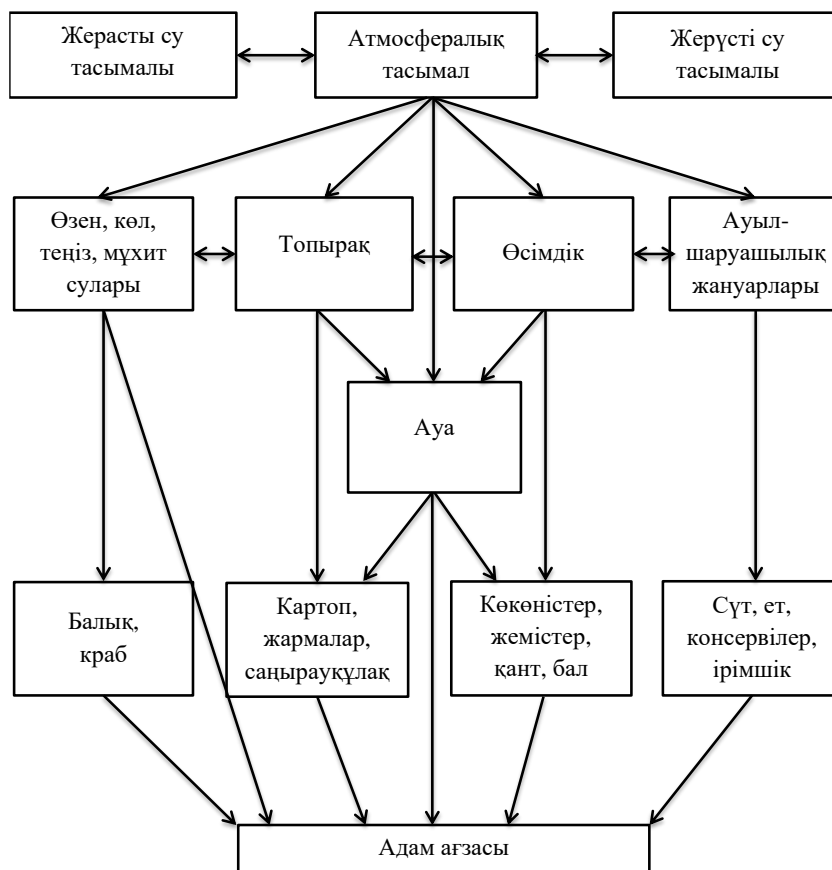
Атауы	Солтүстік Қазақстан	Орталық Қазақстан	Оңтүстік Қазақстан	Батыс Қазақстан
Кен орны	34	6	23	2
Қалдықтарды сақтау орны	1	1	-	1
Қалдықтар (мың/м ³)	49 450,0	420,0	-	104 000,0
Жалпы көлемі (мың/м ³)	54 502,8	1013,3	9124,3	104 000,0

Бұрынғы уран өндірісінен қалған ескі уран орындарын консервациялау жұмыстары 2007 жылы аяқталғанымен кешенді мониторингтік жұмыстар іске асырылмай отыр. Жүргізген зерттеулер Степногор тау-кен химия комбинаты (СТКХК) қалдық қоймасының қоршаған ортаға кері әсерін тигізетінін, топырақтың, судың, өсімдіктердің радионуклидтермен ластануынан көрсеткен. Радиохимиялық талдаулардың көрсеткіштері, Сұлуқамыс су қоймасының үлгілерінде ^{238}U және ^{226}Ra концентрациясы бақылау деңгейінен сәйкесінше 21 және 4 есе, ал Маныбай қоймасындағы су үлгілерінде ^{238}U үлестік белсенділігі бақылау мәнінен 28 есе жоғары екенін көрсеткен. Өсімдік үлгілеріндегі радионуклидтер құрамының өзгеруі бақылау аймағына қарағанда ^{238}U және – 15 есе, ^{226}Ra – 155 есе, ^{230}Th – 54 есе жоғары болған. Ақсу ауылында тұратын жергілікті халық үшін техногендік сәулелену көздерінен туындайтын жылдық тиімді доза 1 мЗв/жыл нормасында ~ 6,5 мЗв/жыл құраған [3-4].

Радиоактивті қалдық қоймасының маңында гамма-сәулелену 2,5-6,0 мкЗв/сағ құрайтынын көрсетті, бұл табиғи фондық деңгейден 20-30 есе жоғары. Сонымен қатар СТКХК өнеркәсіптік объектілеріне жақын аумақтардағы радиациялық жағдайды зерттеу жұмыстары топырақтың ластануының біркелкі еместігін көрсетті. Бұл жағдайда ластаушы радионуклидтер көбінесе ^{238}U , ^{235}U және ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{230}Th болды [5].

Әлем бойынша көптеген елдерде орташа және жоғары деңгейдегі салыстырмалы түрде шағын көлемді радиоактивті қалдықтар қоймалары кездеседі. Әртүрлі елдердегі радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарындағы радиациялық жағдай туралы материалдарға шолу жұмыстары, олардың қоршаған ортаға кері әсерін көрсетті.

Радионуклидтердің тау-кен өндірісі, радиоактивті қалдықтар қоймалары арқылы атмосфераға шығарылуы, уранның қоршаған ортадағы миграциясын жоғарылатады. Қоршаған орта объектілеріне тараған уран, адам ағзасына «су – топырақ – өсімдік – ауыл шаруашылығы өнімдері (сүт, ет) – адам» тізбегі бойынша тасымалданады (сурет 1).



Сурет 1. Қоршаған орта объектілерінен уранның адам ағзасына түсу жолдары [6]

Атмосферада, жерасты және жерүсті суларында, топырақта, ауада таралған уран белгілі тізбек арқылы адам ағзасына тасымалданады. Атмосферадағы уран миграциясы түрлі факторлардың әсеріне байланысты әртүрлі деңгейде болуы мүмкін. Уран тамақпен және сумен бірге асқазан-ішек жолдарына, ауамен тыныс алу жолдарына, сонымен қатар тері және шырышты қабаттар арқылы түседі [7].

Уранның тамақпен және сумен асқазан-ішек жолдарына енуі

Өсімдіктердің немесе жануарлардың уранды сіңіруі топырақтағы, ауадағы және судағы уранның, адамның қоректік тізбегіне енуінің басты механизмі болып табылады. Өсімдіктердегі радионуклидтердің тамыр ассимиляциясы радиоактивті заттардың мөлшерімен, ерігіштігімен, топырақтың физика-химиялық қасиеттерімен, өсімдіктердің физиологиялық ерекшеліктерімен анықталады. Уран өсімдік тамырларына адсорбцияланып, саңырауқұлақтарда, жидектерде, жабайы жемістерде, дәрілік және жемдік өсімдіктерде көптеп жиналады [8]. Кейбір зерттеулер өсімдік тамырындағы уранның концентрациясы топырақтағы уран концентрациясына пропорционал екенін көрсетті [9]. Бақылаулар көрсеткендей, табиғи жем-шөп алқаптарының өсімдіктері әртүрлі ауылшаруашылық дақылдарына қарағанда жоғары радиоактивтілікпен сипатталады [10]. Бұл жайылымдағы жануарлардың уранды көп мөлшерде сіңіруіне алып келеді. Бұған радиоактивті қалдықтармен ластанған аймақтардағы өсірілген ірі қара мал етіндегі радионуклидтердің жоғары концентрациясы дәлел [11].

Солайша, уран зауытының жанында өсірілген тағамды тұтыну күніне 4,5 мкг-ға дейін жетуі мүмкін [12]. Жапонияда рационныңдағы уранның мөлшері тәулігіне 0,86-дан 1,02 мкг-ға дейін өзгерсе, Италияда уранның халық үшін тұтынуы тәулігіне 2,9–4,8 мкг диапазонында бағаланды [13,14]. Жалпы дүние жүзі бойынша уранның адам ағзасына түсуінің тұтыну мәндері тәулігіне 0,9–4,8 мкг аралығында, орташа есеппен 1,5 мкг/тәулік құрайды [15].

Ауыз су үшін уранды тұтынуды бағалау әр түрлі, бірақ орташа көрсеткіш шамамен 0,9–1,5 мкг/тәулік аралығында болады [16]. Негізінен бұл көрсеткіштер жергілікті судың уранмен ластану дәрежесіне байланысты әр түрлі болады. Ең жоғары көрсеткіштер Нью-Мексикодағы Амбросия көлінің суында (уран өңдеу және өндіру аймағы) [17], Калифорниядағы Сан-Хоакин алқабындағы ауылшаруашылық дренаждық және булану тоғандарының суында [18] және Нью-Мексиконың солтүстігіндегі Намбе аймағындағы жер асты суларында байқалды [19]. Ал Кентуккидегі Огайо өзеніне құятын ағын суларындағы уран концентрациясы 1-700 мкг/л аралығында болды [20].

Уранның ауамен тыныс алу жолдары арқылы енуі

Ауада уран шаң түрінде болады. Шаңда кездесетін уранның өте ұсақ бөлшектері суға, өсімдіктерге және жерге түсуі мүмкін. Жаңбыр уранның ауадан жерге түсу жылдамдығын арттырады. Ауадағы уран адам ағзасына тері (денедегі ашық жарақаттар) және тыныс алу арқылы енеді. Тыныс алу жолы арқылы уранның орташа тәуліктік ағзаға түсу мөлшері 0,010 мкг - 0,0010 мкг аралығында деп бағаланады [21-22].

Уранның ағзаға әртүрлі түсу жолдарымен сіңірілуі уран қосылыстарының химиялық ерекшеліктеріне, оның ерігіштігі мен көлеміне байланысты. Уранның еритін қосылыстары үшін ШРК (шекті рұқсат етілген концентрация) $0,015 \text{ мг/м}^3$, ерімейтіндер үшін - $0,075 \text{ мг/м}^3$ құрайды. Асқазан ішек жолында уранның еритін қосылыстарының 1%-ы, ал ерімейтін қосылыстарының 0,1%-ы, өкпеде сәйкесінше 50% және 20%-ы сіңеді. Уранил нитраты, фториді, хлориді (V), оксиді (VI) белгілі бір мөлшерде тері арқылы енсе, ерімейтін қосылыстары мүлдем енбейді [23]. Адам ағзасына енгеннен кейін еритін уран қосылыстары қанға тез сіңіп, ағзалар мен тіндерге таралады.

Зерттеулер нәтижелері бойынша уранның ағзада біркелкі таралмайтыны, негізінен қаңқада, бронх-өкпе лимфа түйіндерінде, көкбауырда, сондай-ақ бүйректе және бауырда көп

мөлшерде жинақталатынын көрсетті [24,25]. Ересек адамның денесінде уранның мөлшері шамамен 90 мкг құраса, оның 66% сүйекте, 16% бауырда, 8% бүйректе, 10% басқа тіндерде жинақталады [26].

Уранның адам денсаулығына әсері ауыр металдардың химиялық уыттылығымен және аз дәрежеде оның радиоактивті қасиеттерімен түсіндіріледі [27]. Уран қосылыстарының химиялық уыттылығы оның түріне байланысты әр түрлі болады. Жануарларға жүргізілген тәжірибелердің негізінде келесі заңдылықтар анықталды:

- тіпті үлкен дозаларыда салыстырмалы түрде уытты емес: UO_2 , U_3O_8 , UF_4 (ерімейтін қосылыстар), бірақ олар тыныс алу кезінде кезінде қауіпті болуы мүмкін;
- үлкен дозада улы: UO_3 (ағзада баяу ериді);
- орташа мөлшерде улы: $UO_2(NO_3)_2$, $UO_4 \cdot 2H_2O$, $Na_2U_2O_7$ (ерігіш қосылыстар);
- аз дозаларда да өте улы: UO_2F_2 , UF_6 (уранның улылығы анионның уыттылығымен күшейеді) [28].

Уранның денсаулыққа әсері туралы зерттеулердің соңғы нәтижелері оның тератогендік [29, 30], эндокриндік бұзылыстар [31], генетикалық зақым [32] және нейротоксикалық әсерлер сияқты уыттылықтың әлдеқайда кең спектрін көрсететті [33, 34]. Көрсеткіштер уранмен ластану қауіпі бар аймақтардағы тұрғындар үшін уранның мөлшерін анықтаудың өзектілігін көрсетеді. Бұндай зерттеулер жүргізу үшін, көбіне қоршаған ортаның өзгеруінің биоиндикаторы ретінде шаш, тырнақ, қан, зәр және басқа да биологиялық сынамаларды пайдаланады [35,36].

Несеп сынамаларындағы уранның мөлері

Адамның несепіндегі уранды зерттеу ішкі сәулеленуді дозиметриялық бақылаудың негізгі әдісі болып табылады. Уранның ауыз су арқылы еуі немесе құрамында ураны бар бөлшектерді ингаляциялауды анықтау кезінде несеп анализі қолданылады [37]. Несептегі уран, оның адам ағзасындағы мөлшерлік деңгейіне байланысты организмнен бөліну жылдамдығының белгілі заңдылықтарына сәйкес, осы элементтің ағзада жинақталуының көрсеткіші бола алады [38]. АҚШ-тың Ядролық реттеу комиссиясы (NRC) кәсіптік әсерге ұшыраған адамдар үшін несептегі уран деңгейін 15 мкг/л деп белгіледі [39].

Еліміздегі Харасан-2 кеніші аймағының экологиялық жағдайын зерттеу кезінде, биологиялық сынамалардағы уран концентрациясы несепте 4 мкг/л аспайтын шектерде анықталды [40].

Бірнеше уран кеніштері жұмыс істейтін Оңтүстік-Батыс Нигерияда несептегі уранның мәндері жергілікті халқының өкілдерінен анықталды. Ер және әйел жыныстағы еріктілерден (3 жастан 78 жасқа дейін) 24 сағаттық зәр үлгілерін жинау ұсынылды. Несептегі уранның концентрациясын өлшеу индуктивті байланысқан плазмалық масс-спектрометрияны (ICP-MS) пайдалана отырып жүргізілді. Несептегі уран концентрациясы және олардың қалыпқа келтірілген креатинин мәндері 15 жастан ер және әйел адамдар үшін тиісінше 10,4-тен 150 нг/л-ге дейін және 2,52-ден 252,7 нг/г креатининге дейін өзгерді. Ал 15 жасқа дейінгі тұрғындарда 61,6 нг/л және 76,0 нг/г-ға дейін креатинин экскрециясының жоғарылауы анықталды. Орташа тәуліктік шығарылатын уран, ересектер үшін 14,2 нг және балалар үшін 45,1 нг деп бағаланады [41].

Шаш және тырнақ сынамаларындағы уран

Адамның шашы мен тырнақтарындағы элементтердің мөлшері, жергілікті халыққа табиғи радионуклидтер мен басқа металдардың әсер етуінің баламалы көрсеткіші болып табылады. Олардың құрамы мен сыртқы түріндегі өзгерістері денеде жинақталған элементтердің жетіспеушілігінің немесе көп мөлшерде болуын көрсетеді [42]. Олар қанмен, термен,

гормондармен және ферменттермен, сондай-ақ генетикалық факторлармен бақыланады және белгілі бір дәрежеде организмде болатын физиологиялық процестердің көрсеткіші болып табылады [43]. Биологиялық сынамалардың басқа түрлерімен салыстырғанда, шаш пен тырнақ тер, қан және несеп сияқты тіндерге қарағанда бірнеше артықшылықтарға ие [44]. Шаш пен тырнақтың ауыртпалықсыз алынуы, оңай жиналуы және тасымалдануы, бөлме температурасында жоғары тұрақтылығы және басқа дене сұйықтықтары мен тіндеріне қарағанда элементтердің салыстырмалы түрде жоғары концентрациясы сияқты көптеген сипаттамалары оларды зертханалық талдауға қолайлы объект ретінде таңдап алуға мүмкіндік береді [45].

Сербияда табиғи радиоактивтілігі жоғары Нишка Баня қаласында адамның шаштары мен тырнақтарындағы уран, торий және басқа да кейбір улы элементтердің деңгейі анықталған. Адамдардың шашы мен тырнақтарындағы элементтер концентрациясының үлкен ауытқуы байқалған. Әсіресе, торий деңгейінің адамның шашында да, тырнағында да жоғары екені анықталды [46].

Оңтүстік Африкада адамның шашынан уранның мөлшері анықталды. Аймақтағы тұрғындардың шаштарында өлшенген уран концентрациясы уранның жоғары деңгейін көрсетті. Уран мәндері 31 мкг/кг-дан 2524 мкг/кг-ға дейін ауытқыған [47]. Ресей Федерациясындағы Сібір химия комбинатының (СХК) жақын аумақтарындағы балалар популяциясының шашының элементтік құрамын зерттеу деректеріне сәйкес, СХК апатынан 4 жылдан кейін алынған үлгілерінде уран, торий радионуклидтерінің жоғары мәндері анықталды [48]. Бұл бақылау, шаштағы уран концентрациясының созылмалы әсер ету кезінде қан мен зәрдегі уран концентрациясын көрсетуі мүмкін деген түсінікті растады.

Кейбір элементтердің, соның ішінде уран мен торийдің шаш пен тырнақта қанға қарағанда әлдеқайда жоғары деңгейде болатыны байқалды [49]. Израиль ғалымдары шаштағы уран концентрациясы несеппен салыстырғанда орта есеппен шамамен сегіз есе жоғары екенін көрсетті. Осылайша, ұзақ уақыт бойына әсерді бағалау үшін шаштағы уранның бір реттік талдауы бірнеше несеп үлгілерінің талдауын алмастыра алады [50].

Шаштағы уран концентрациясы 100 мг/кг-ден төмен адамдарды таза иондық сәулеленбеген деп санауға болады. Мұндай адамдар қосымша бағалауды қажет етпейді. Шаштағы уранның мөлшері 100-ден 10 000 мг/кг ауытқыса жоғары көрсеткіш болып есептеледі. Ал егерде уран концентрациясы 10 000 мг/кг-нан асатын болса, уранмен бүйрек зақымдануын анықтайтын сынау жұмыстары жүргізілуі тиіс [51].

Қорытынды

Талданған зерттеулерге сүйене отырып, уран және басқа да тау-кен аймақтары үшін осы аумақтың экологиялық жағдайын тиімді бағалау және оның адам ағзасына әсері туралы зерттеулер қажет. Сонымен, уранның адам ағзасында көп мөлшерде жинақталуының денсаулыққа кері әсерін ескере отырып, оның ағзаға түсу жолдарын бақылау, биологиялық үлгілердегі (зәр, шаш, тырнақ) уранның құрамын анықтау өзекті мәселелердің бірі болып табылатындығы анықталды.

Белгілі отандық және шетелдік зерттеушілердің жұмыстарымен салыстыра отырып, радионуклидтердің адам ағзасына түсу жолдарын бағалап, биологиялық сынамалардағы уранның мөлшерін анықтау жұмыстарына талдау жұмыстары жүргізілді. Тиісті осындай зерттеулерді жүргізе отырып, жергілікті халық үшін радионуклидтердің ағзаға түсуі мөлшерін төмендететін іс-шараларды ұйымдастыруға болады.

Қаржыландыру. Ғылыми жұмыс “Консервацияланған уран кеніштеріне жақын тұратын халықтың дозалық жүктемесін бағалау, эпидемиологиялық зерттеу және жағымсыз техногендік факторларды азайту жөніндегі іс-шараларды әзірлеу” (2022-2024) ғылыми жобасы аясында жүргізілді (ЖТН АР14871503, тапсырыс беруші ҚР ҒЖБМ).

Әдебиеттер тізімі

1. World Nuclear Association website. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [Электронды ресурс] – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx> (өтініш берілген күн: 09.12.2021).
2. Программа консервации уранодобывающих предприятий и ликвидации последствий разработки урановых месторождений на 2001-2010 гг. Постановление Правительства Республики Казахстан от 25 июля 2001 года N1006. [Электронды ресурс] – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P010001006> (өтініш берілген күн: 25.07.2001).
3. Казымбет П.К., Имашева Б.С., Бахтин М.М. Радиоэкологическое состояние природных объектов вокруг уранодобывающих предприятий Акмолинской области // Мед. радиол. и радиац. безопасность. – 2006. – Т. 53, № 3. – С. 22-27.
4. Казымбет П.К., Бахтин М.М., Кашкинбаев Е.Т., Джанабаев Д., Даутбаева Ж.С., Шарипов М.К. Радиационная обстановка на хвостохранилище Степногорского горно-химического комбината и прилегающих территориях. Сообщение I // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2018. –Т.63, № 1. – С. 40-47.
5. Софронова Л.И., Хусаинов А.Т. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в уранодобывающих регионах Северного Казахстана // Вестник Тюм ГУ (Тюмень). – 2011. – № 4. – С. 91-94.
6. Алексахин Р.М. Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. – Москва: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2006. – 880 с.
7. Клечковский В.М. Радиоактивность и пища человека. – Москва: Атомиздат, 1971. – 376 с.
8. Premuzic E.T., Francis A.J., Lin M., et al. Induced formation of chelating agents by *Pseudomonas aeruginosa* grown in presence of thorium and uranium // Arch Environ Contam Toxicol. – 1995. – Vol. 14. – P. 759-768.
9. Swanson S.M. Food chain transfer of U-Series radionuclides in northern Saskatchewan aquatic system // Health Phys. – 1985. – Vol. 49. – P. 747-770.
10. Гребенюк А.Н. Основы радиобиологии и радиационной медицины. Учебное пособие. Гриф УМО по медицинскому образованию. – Москва: Фолиант, 2012. – 709 с.
11. Софронова Л.И., Хусаинов А.Т. Суммарная удельная альфа-активность радионуклидов в отложениях урановых хвостов на Степногорском гидрометаллургическом заводе // Аграрный вестник Урала (Екатеринбург). – 2011. – № 10. – С. 41-43.
12. Rayno D.R. Estimated dose to man from uranium milling via the beef/milk food-chain pathway // Sci. Total Environ. – 1983. – №31. – P. 219-241.
13. Yamamoto T., Masuda K., Nukada K. Uranium in total diet and human urine from nonoccupationally exposed persons in Okayama Prefecture // J Radiation Res. – 1971. – Vol. 13(1). – P. 5.
14. Galletti M., D'Annibale L., Pinto V., et al. Uranium daily intake and urinary excretion: A preliminary study in Italy // Health Phys. – 2003. – Vol. 85(2). – P. 228-235.
15. Linsalata P. Uranium and thorium decay series radionuclides in human and animal foodchains // J Environ Qual. – 1994. – Vol. 23. – P. 633-642.
16. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Proposed Rule // USEPA. – 1991. – Vol. 56(138). – P. 330-350.
17. Lapham S.C., Millard J.B., Samet J.M. Health implications of radionuclide levels in cattle raised near U mining and milling facilities in Ambrosia Lake, New Mexico // Health Phys. – 1989. – Vol. 36(3). – P. 327-340.
18. Bradford G.R., Bakhtar D., Westcot D. Uranium vanadium and molybdenum in saline waters of California // J Environ Qual. – 1990. – Vol. 319. – P.105-108.
19. Hakonson-Hayes A.C., Fresquez P.R., Whicker F.W. Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well water // J Environ Radioact. – 2002. –Vol. 59(1). – P. 29-40.

20. Kornegay F.C., West D.C., Jones V.W. Paducah gaseous diffusion plant. Environmental monitoring report. U.S. Department of Energy. – Oak Ridge, Tennessee, 1981a. – 160 p.
21. Graves B. Development of regulations for radionuclides in drinking water. Radon in ground water, radon, radium and other radioactivity in ground water // Proceedings of the National Water Well Association conference. – Chelsea, MI: Lewis Publishers, Inc, 1987. – P. 1-11.
22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Report to the General Assembly, with annexes // Sources, effects and risks of ionizing radiation. – New York, 1988. – 647 p.
23. Жерин И.И., Амелина Г.Н. Химия тория, урана, плутония: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 147 с.
24. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. Редкие f-элементы. – Москва: Экология, 1997. – 607 с.
25. Штреффер К. Радиационная биохимия. Москва: Атомиздат, 1972. – 200 с.
26. McDiarmid M.A., Hooper F.J., Squibb K., et al. The utility of spot collection for urinary uranium determinations in depleted uranium exposed Gulf War veterans // Health Phys. – 1999b. – Vol. 77(3). – P. 261-264.
27. Canu I.G., Laurent O., Pires N., Laurier D., Dublineau I. Health effects of naturally radioactive water ingestions: the need for enhanced studies // Environ Health Perspect. – 2011. – Vol. 119. – P. 1676-1680.
28. Бекман И.Н., Бунцева И.М. Экспериментальные методы исследования диффузии радиоактивных газов в твердых телах // Радиохимия. – 1981. № 23(3). – С. 434-441.
29. Domingo J.L. Reproductive and developmental toxicity of natural and depleted uranium // Reproduct Toxicol. – 2001. – Vol. 15(6). – P. 603-609.
30. Hindin R., Brugge D., Panekaa B. Teratogenicity of depleted uranium aerosols: a review from an epidemiological perspective // Environ Health. – 2005. – Vol. 4(1). – P. 17.
31. Raymond-Wish S., Mayer L.P., O'Neal T., Martinez A., Sellers M.A., Christian P.J., et al. Drinking water with uranium below the U.S. EPA water standard causes estrogen receptor-dependent responses in female mice // Environ Health Perspect. – 2007. – Vol. 115(12). – P. 1711-1716.
32. Zaire R., Notter M., Thiel E. Unexpected rates of chromosome instabilities and alteration of hormone levels in Namibian uranium miners // Radiat Res. – 1997. – Vol. 147. – P. 579-584.
33. McDiarmid M.A., Keogh J.P., Hooper F.J., McPhaul K., Squibb K., Kane R., et al. Health effects of depleted uranium on exposed Gulf War veterans // Environ Res. – 2012. – Vol. 82. – P. 168-180.
34. Bensoussan H., Grancolas L., Dhieux-Lestaevel B., Delissen O., Vacher C.-M., Dublineau I., et al. Heavy metal uranium affects the brain cholinergic system in rat following sub-chronic and chronic exposure // Toxicology. – 2009. – Vol. 261. – P. 59-67.
35. Kovalskiy V.V. Geochemical environment and life. – Moscow: Nauka Publ., 1987. – 76 p.
36. Sayet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Achkasov A.I., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Sarkisyan S.Sh., Smirnova R.S., Trefilova N.Ya. Environmental geochemistry. – Moscow: Nedra Publ., 1990. – 335 p.
37. Moreda P.J., Alonso R.E., Lopez M.P., Muniategui L.S., Prada R.D., Moreda P.A., Bermejo B.P. Determination of major and trace elements in human scalp hair by pressurized-liquid extraction with acetic acid and inductively coupled plasma-optical-emission spectrometry // Anal. Bioanal. Chem. – 2007. – Vol. 388. – P. 441-449.
38. Jackson S., Dolphin G.W. The estimation of internal radiation dose from metabolic and urinary excretion data for a number of important radionuclides // Ibid. – 1966. – Vol. 12(4). – P. 481-500.
39. Starościa E., Rosiak L. J Radioanal Nucl Chem. Determination of uranium reference levels in the urine of Warsaw residents (Poland). – 2015. – Vol. 304(1). – P. 75-79.

40. Сыгаев Е.К., Тургумбаева Х.Х. Экологические аспекты рекультивации отработанных участков скважинной добычи урановых руд / XXIV международный научный симпозиум студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск, 2022. – С. 126.
41. Vera Hollriegl, Adeseye M. Arogunjo, Augusto Giussani, Bernhard Michalke. Daily urinary excretion of uranium in members of the public of Southwest Nigeria // *Sci Total Environ.* – 2011. – P. 412-413.
42. Kehagia K., Bratokos S., Kolovou M., Potiriadis C. Hair analysis as an indicator of exposure to uranium // *Radiat. Prot. Dosim.* – 2011. – Vol. 144. – P. 423-426.
43. Aguiar A.R., Saiki M. Determination of trace elements in human nail clippings by neutron activation analysis // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* – 2001. – Vol. 249. – P. 413-416.
44. Rodushkin I., Axelsson M.D., Application of double focusing sector field ICPMS for multielement characterization of human hair and nails. Part II. A study of inhabitant of northern Sweden // *Sci. Total Environ.* – 2000. – Vol. 262. – P. 21-36.
45. Samanta G., Sharma R., Roychowdhury, T., Chakraborti D. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India // *Sci. Total Environ.* – 2004. – Vol. 326. – P. 33-47.
46. Sahoo S.K., Zuni Z.S., Kritsanuwanat R., Zagrodzki P., Bossew P., Veselinovic N., Mishra S., Yonehara H., Tokonami S. Distribution of uranium, thorium and some stable trace and toxic elements in human hair and nails in Niska Banja Town, a high natural background radiation area of Serbia // *Tokonami Journal of Environmental Radioactivity.* – 2015. – Vol. 145. – P. 66-77.
47. Winde F., Geipel G., Espina C., Schu"z J. Human exposure to uranium in South African gold mining areas using barber-based hair sampling // *PLoS ONE.* – 2019. – Vol. 14(6). – P. e0219059.
48. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сухих Ю.И. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. –Томск, 2006. – 216 с.
49. Were F.H., Njue W., Murungi J., Wanjau R. Use of human nails as bioindicators of heavy metals environmental exposure among school age children in Kenya // *Sci. Total Environ.* – 2008. – Vol. 393. – P. 376-384.
50. Karpas Z., Paz-Tal O., Lorber A., Salonen L., Komulainen H., Auvinen A., Saha H., Kurttio P. Urine, hair, and nails as indicators for ingestion of uranium in drinking water // *Health Phys.* – 2005. – Vol. 88. – P. 229-242.
51. Agnes Šömen Joksića, Sidney A. Katzb Efficacy of hair analysis for monitoring exposure to uranium: A mini-review // *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering.* – 2014. – Vol. 49(13). – P. 1578-1587.

Д.С. Бижанова, М.М. Бахтин

Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан

Оценка содержания урана в биологических пробах населения, проживающего в окрестностях уранового производства

Аннотация. Загрязнение окружающей среды промышленными отходами является одной из актуальных проблем на сегодняшний день. Поэтому для населения, проживающего вблизи хранилища радиоактивных отходов, важно изучить его влияние на организм человека на протяжении многих лет и определить пути решения этой проблемы.

В статье представлен обзор вопросов обеспечения радиационной безопасности в зонах складов радиоактивных отходов, данных о современном состоянии мест хранения радиоактивных отходов в стране. Также дана характеристика путей движения радионуклидов, в основном, в объектах окружающей среды уранового ряда, дан обзор основных способов оценки содержания

радионуклидов в организме человека и расчета доз облучения. Основное внимание было уделено определению урана в биологических пробах (волосы, ногти, моча).

Ключевые слова: радиация, уран, радиоактивные отходы, биологическая пробы, дозовая нагрузка, радионуклиды.

D.S. Bizhanova, M.M. Bakhtin

Astana Medical University, Astana, Kazakhstan

Assessment of uranium content in biological samples of the population living in the vicinity of uranium production

Abstract. Pollution of the environment by industrial waste is one of the urgent problems today. Therefore, for the population living near the storage of radioactive waste, it is important to study its impact on the human body for many years and determine ways to solve this problem.

The article presents an overview of the issues of ensuring radiation safety in the areas of radioactive waste warehouses, data on the current state of radioactive waste storage sites in the country. It also provides the characteristic of the ways of movement of radionuclides, mainly in the objects of the uranium series environment, as well as an overview of the main methods for assessing the content of radionuclides in the human body and calculating radiation doses. The main attention was paid to the determination of uranium in biological samples (hair, nails, urine).

Keywords: radiation, uranium, radioactive waste, biological samples, dose load, radionuclides.

References

1. World Nuclear Association website. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [Electronic resource] – Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx> (Accessed: 09.12.2021).
2. Programma konservacii uranodobyvayushchih predpriyatij i likvidacii posledstvij razrabotki uranovyh mestorozhdenij na 2001-2010 gg. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 25 iyulya 2001 goda N1006 [Program for the conservation of uranium mining enterprises and the elimination of the consequences of the development of uranium deposits for 2001-2010. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated July 25, 2001 N1006]. [Electronic resource] – Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P010001006> (Accessed: 25.07.2001). [in Russian]
3. Kazymbet P.K., Imasheva B.S., Bahtin M.M. Radioekologicheskoe sostoyanie prirodnyh ob'ektov vokrug uranodobyvayushchih predpriyatij Akmolinskoj oblasti, Med. radiol. i radiac. bezopasnost' [Radioecological state of natural objects around uranium mining enterprises of the Akmola region, Med. radiol. and radiats. safety], 53(3), 22-27 (2006). [in Russian]
4. Kazymbet P.K., Bahtin M.M., Kashkinbaev E.T., Dzhanabaev D., Dautbaeva ZH.S., SHaripov M.K. Radiacionnaya obstanovka na hvostohranilishche Stepnogorskogo gorno-himicheskogo kombinata i prilgayushchih territoriyah. Soobshchenie I, Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost' [Radiation situation at the tailing dump of the Stepnogorsk Mining and Chemical Combine and adjacent territories. Message I, Medical Radiology and Radiation Safety], 63(1), 40-47 (2018). [in Russian]
5. Sofronova L.I., Husainov A.T. Problemy obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti v uranodobyvayushchih regionah Severnogo Kazahstana, Vestnik Tyum GU (Tyumen') [Problems of ensuring radiation safety in the uranium mining regions of Northern Kazakhstan, Bulletin of Tyumen State University (Tyumen)], 4, 91-94 (2011). [in Russian]

6. Aleksahin R.M. Problemy radioekologii: Evolyuciya idej. Itogi [Problems of radioecology: Evolution of ideas. Results] (Moskva: Rossel'hozakademiya, GNU VNIISKHRAE, 2006, 880 s.) [Moscow: Russian Agricultural Academy, GNU VNIISKhRAE, 2006, 880 p.]. [in Russian]
7. Klechkovskij V.M. Radioaktivnost' i pishcha cheloveka [Radioactivity and human food] (Moskva: Atomizdat, 1971, 376 s.) [Moscow: Atomizdat, 1971, 376 p.]. [in Russian]
8. Premuzic E.T., Francis A.J., Lin M., et al. Induced formation of chelating agents by *Pseudomonas aeruginosa* grown in presence of thorium and uranium, Arch Environ Contam Toxicol., 14, 759-768 (1995).
9. Swanson S.M. Food chain transfer of U-Series radionuclides in northern Saskatchewan aquatic system, Health Phys., 49, 747-770 (1985).
10. Grebenyuk A.N. Osnovy radiobiologii i radiacionnoj mediciny. Uchebnoe posobie. Grif UMO po medicinskomu obrazovaniyu [Fundamentals of radiobiology and radiation medicine. Tutorial. UMO certification for medical education] (Moskva: Foliant, 2012, 709 s.) [Moscow: Folio, 2012, 709 p.]. [in Russian]
11. Sofronova L.I., Husainov A.T. Summarnaya udel'naya al'fa-aktivnost' radionuklidov v otlozheniyah uranovyh hvostov na Stepnogorskom gidrometallurgicheskom zavode, Agrarnyj vestnik Urala (Ekaterinburg) [Total specific alpha activity of radionuclides in deposits of uranium tails at the Stepnogorsk hydrometallurgical plant, Agrarian Bulletin of the Urals (Yekaterinburg)], 10, 41-43 (2011). [in Russian]
12. Rayno D.R. Estimated dose to man from uranium milling via the beef/milk food-chain pathway, Sci. Total Environ., 31, 219-241 (1983).
13. Yamamoto T., Masuda K., Nukada K. Uranium in total diet and human urine from nonoccupationally exposed persons in Okayama Prefecture, J Radiation Res., 13(1), 5 (1971).
14. Galletti M., D'Annibale L., Pinto V., et al. Uranium daily intake and urinary excretion: A preliminary study in Italy, Health Phys, 85(2), 228-235 (2003).
15. Linsalata P. Uranium and thorium decay series radionuclides in human and animal foodchains, J Environ Qual., 23, 633-642 (1994).
16. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Proposed Rule, USEPA, 56(138), 330-350 (1991).
17. Lapham S.C., Millard J.B., Samet J.M. Health implications of radionuclide levels in cattle raised near U mining and milling facilities in Ambrosia Lake, New Mexico, Health Phys., 36(3), 327-340 (1989).
18. Bradford G.R., Bakhtar D., Westcot D. Uranium vanadium and molybdenum in saline waters of California, J Environ Qual., 319, 105-108 (1990).
19. Hakonson-Hayes A.C., Fresquez P.R., Whicker F.W. Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well water, J Environ Radioact., 59(1), 29-40 (2002).
20. Kornegay F.C., West D.C., Jones V.W. Paducah gaseous diffusion plant. Environmental monitoring report. U.S. Department of Energy (Oak Ridge, Tennessee, 1981a, 160 p.).
21. Graves B. Development of regulations for radionuclides in drinking water. Radon in ground water, radon, radium and other radioactivity in ground water. Proceedings of the National Water Well Association conference, Chelsea, MI: Lewis Publishers, Inc., 1-11 (1987).
22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Report to the General Assembly, with annexes. Sources, effects and risks of ionizing radiation (New York, 1988, 647 p.).
23. ZHerin I.I., Amelina G.N. Himiya toriya, urana, plutoniya: uchebnoe posobie [Chemistry of thorium, uranium, plutonium: textbook] (Tomsk: Izd. TPU, 2010, 147 s.). [in Russian]
24. Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov: Spravochnik: V 6 kn. Redkie f-elementy [Ecological geochemistry of elements: Handbook: In 6 books. Rare f-elements] (Moskva: Ekologiya, 1997, 607 s.) [Moscow: Ecology, 1997, 607 p.]. [in Russian]

25. SHtreffer K. Radiacionnaya biohimiya [Radiation biochemistry] (Moskva: Atomizdat, 1972, 200 s.) [Moscow: Atomizdat, 1972, 200 p.]. [in Russian]
26. McDiarmid M.A., Hooper F.J., Squibb K., et al. The utility of spot collection for urinary uranium determinations in depleted uranium exposed Gulf War veterans, *Health Phys.*, 77(3), 261-264 (1999b).
27. Canu I.G., Laurent O., Pires N., Laurier D., Dublineau I. Health effects of naturally radioactive water ingestions: the need for enhanced studies, *Environ Health Perspect*, 119, 1676-1680 (2011).
28. Bekman I.N., Bunceva I.M. Eksperimental'nye metody issledovaniya diffuzii radioaktivnykh gazov v tverdyh telah, *Radiohimiya* [Experimental methods for studying the diffusion of radioactive gases in solids, *Radiochemistry*], 23(3), 434-441 (1981). [in Russian]
29. Domingo J.L. Reproductive and developmental toxicity of natural and depleted uranium, *Reproduct Toxicol.*, 15(6), 603-609 (2001).
30. Hindin R., Brugge D., Panekaa B. Teratogenicity of depleted uranium aerosols: a review from an epidemiological perspective, *Environ Health*, 4(1), 17 (2005).
31. Raymond-Wish S., Mayer L.P., O'Neal T., Martinez A., Sellers M.A., Christian P.J., et al. Drinking water with uranium below the U.S. EPA water standard causes estrogen receptor-dependent responses in female mice, *Environ Health Perspect*, 115(12), 1711-1716 (2007).
32. Zaire R., Notter M., Thiel E. Unexpected rates of chromosome instabilities and alteration of hormone levels in Namibian uranium miners, *Radiat Res.*, 147, 579-584 (1997).
33. McDiarmid M.A., Keogh J.P., Hooper F.J., McPhaul K., Squibb K., Kane R., et al. Health effects of depleted uranium on exposed Gulf War veterans, *Environ Res.*, 82, 168-180 (2012).
34. Bensoussan H., Grancolas L., Dhieux-Lestaevel B., Delissen O., Vacher C.-M., Dublineau I., et al. Heavy metal uranium affects the brain cholinergic system in rat following sub-chronic and chronic exposure, *Toxicology*, 261, 59-67 (2009).
35. Kovalskiy V.V. Geochemical environment and life (Moscow: Nauka Publ., 1987, 76 p.).
36. Sayet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Achkasov A.I., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Sarkisyan S.Sh., Smirnova R.S., Trefilova N.Ya. Environmental geochemistry (Moscow: Nedra Publ., 1990, 335 p.).
37. Moreda P.J., Alonso R.E., Lopez M.P., Muniategui L.S., Prada R.D., Moreda P.A., Bermejo B.P. Determination of major and trace elements in human scalp hair by pressurized-liquid extraction with acetic acid and inductively coupled plasma-optical-emission spectrometry, *Anal. Bioanal. Chem.*, 388, 441-449 (2007).
38. Jackson S., Dolphin G.W. The estimation of internal radiation dose from metabolic and urinary excretion data for a number of important radionuclides, *Ibid*, 12(4), 481-500 (1966).
39. Starościa E., Rosiak L. *J Radioanal Nucl Chem.* Determination of uranium reference levels in the urine of Warsaw residents (Poland), 304(1), 75-79 (2015).
40. Sygaev E.K., Turgumbaeva H.H. Ekologicheskie aspekty rekul'tivacii otrabotannykh uchastkov skvazhinnoj dobychi uranovykh rud. XXIV mezhdunarodnyj nauchnyj simpozium studentov i molodyh uchenykh «Problemy geologii i osvoeniya neдр», Tomsk [Ecological aspects of reclamation of worked-out areas of uranium ore mining. XXIV international scientific symposium of students and young scientists "Problems of geology and subsoil development", Tomsk], 126 (2022). [in Russian]
41. Vera Hollriegl, Adeseye M. Arogunjo, Augusto Giussani, Bernhard Michalke. Daily urinary excretion of uranium in members of the public of Southwest Nigeria, *Sci Total Environ.*, 412-413 (2011).
42. Kehagia K., Bratokos S., Kolovou M., Potiriadis C. Hair analysis as an indicator of exposure to uranium, *Radiat. Prot. Dosim.*, 144, 423-426 (2011).
43. Aguiar A.R., Saiki M. Determination of trace elements in human nail clippings by neutron activation analysis, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 249, 413-416 (2001).

44. Rodushkin I., Axelsson M.D., Application of double focusing sector field ICPMS for multielement characterization of human hair and nails. Part II. A study of inhabitant of northern Sweden, *Sci. Total Environ.*, 262, 21-36 (2000).
45. Samanta G., Sharma R., Roychowdhury, T., Chakraborti D. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India, *Sci. Total Environ.*, 326, 33-47 (2004).
46. Sahoo S.K., Zuni Z.S., Kritsanuwan R., Zagrodzki P., Bossew P., Veselinovic N., Mishra S., Yonehara H., Tokonami S. Distribution of uranium, thorium and some stable trace and toxic elements in human hair and nails in Niska Banja Town, a high natural background radiation area of Serbia, *Tokonami Journal of Environmental Radioactivity*, 145, 66-77 (2015).
47. Winde F., Geipel G., Espina C., Schu'z J. Human exposure to uranium in South African gold mining areas using barber-based hair sampling, *PLoS ONE*, 14(6), e0219059 (2019).
48. Rihvanov L.P., YAzikov E.G., Suhih YU.I. Ekologo-geohimicheskie osobennosti prirodnyh sred Tomskogo rajona i zaboлеваemost' naseleniya [Ecological and geochemical features of natural environments of the Tomsk region and the incidence of the population] (Tomsk, 2006, 216 s.). [in Russian]
49. Were F.H., Njue W., Murungi J., Wanjau R. Use of human nails as bioindicators of heavy metals environmental exposure among school age children in Kenya, *Sci. Total Environ.*, 393, 376-384 (2008).
50. Karpas Z., Paz-Tal O., Lorber A., Salonen L., Komulainen H., Auvinen A., Saha H., Kurttio P. Urine, hair, and nails as indicators for ingestion of uranium in drinking water, *Health Phys.*, 88, 229-242 (2005).
51. Agnes Šömen Joksića, Sidney A. Katz. Efficacy of hair analysis for monitoring exposure to uranium: A mini-review // *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. – 2014. – Vol. 49(13). – P. 1578-1587.

Авторлар туралы мәліметтер:

Бижанова Д.С. – ғылыми қызметкер, Радиобиология және радиациялық қорғау институты, Астана медицина университеті, Бейбітшілік 49/А, Астана, Қазақстан.

Бахтин М.М. – б.ғ.д., профессор, Радиобиология және радиациялық қорғау институты директоры, Астана медицина университеті, Бейбітшілік 49/А, Астана, Қазақстан.

Bizhanova D.S. – Researcher, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, 49/A Beibitshilik Street, Astana, Kazakhstan.

Bakhtin M.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, 49/A Beibitshilik Street, Astana, Kazakhstan.