

Уран кенін өндіретін аймақтарда “топырақ-өсімдік” тізбегіндегі радионуклидтердің миграциясына баға беру (әдеби шолу)

Аңдатпа. Тау-кен өнеркәсібінің қызметі нәтижесінде белсенді мутагендік және канцерогендік әсері бар радионуклидтер мен химиялық заттар жер бетіне шығарылатыны белгілі. Әсіресе радиоактивті қалдықтар және де басқасол сияқты қайта өңдеу өнімдері ерекше қауіп төндіруі мүмкін. Осыған байланысты қалдықтарды сақтау орындарына және радионуклидтер мен ауыр металдардың қоршаған орта объектілерінде миграциялану дәрежесіне тұрақты мониторинг жүргізу қажеттілігі туындайды.

Бұл мақалада әдеби шолудың негізінде уран кен аймақтарындағы радионуклидтердің топырақ, өсімдіктегі мөлшерімен, олардың “топырақ-өсімдік” тізбегіндегі миграциясы туралы қазіргі заманғы мәліметтер қарастырылған.

Түйін сөздер: радионуклидтер, радионуклидтердің миграциясы, топырақ, өсімдік, уран кені.

DOI: 10.32523/2616-7034-2023-142-1-124-135

Кіріспе

Қазіргі таңда топырақтағы, құмдағы, судағы, тау жыныстарындағы, ауадағы және басқа да қоршаған орта объектілеріндегі радионуклидтердің мөлшерін анықтау жұмыстары іске асырылуда. Бұл жүргізілген зерттеулердің басым бөлігі қоршаған орта объектісі ретінде топырақ сынамаларын зерттеуге бағытталған. Қоршаған орта объектілерінің радиоактивтілігі негізінен ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs және тағы басқа радионуклидтерімен, олардың ыдырау өнімдерінің мөлшері бағаланады [1-2]. Топырақтың осы орайдағы ерекшелігі-ол радиоактивті материалдардың соңғы бағыты және оның ұзақ мерзімді рөлі радионуклидтерді жинақтау және сонымен бірге ауаның, судың, өсімдіктердің ластануында осы заттардың негізі көзі ретінде әсер етеді [3].

Топырақ сынамаларына жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде радионуклидтердің концентрациялары географиялық және геологиялық жағдайларға байланысты әр аймақта өзгереді [4]. Өртүрлі аймақтарда геологиялық жер қабатының ерекшелігі, уран, көмір, мұнай, газ, фосфат өндіру, сондай-ақ сейсмикалық жағдайлар және басқада табиғи құбылыстар топырақтағы техногенді радионуклидтердің және ауыр металдардың таралуын өзгерте алады [5]. Мысалы, Польша мен Канада топырақтарындағы уранның орташа концентрациясы сәйкесінше 0,79 мг/кг және 1,2 мг/кг құраса, Оралдағы сазды-шымтезекті топырақтардағы уранның концентрациясы 0,2-0,9 мг/кг болған [6]. Тау-кен өндірісінің өсуіне байланысты Қытайда уранның топырақтағы орташа мөлшері 19,62 мг/кг көрсеткен [7]. Ал Орталық Португалиядағы уран кенішінің айналасындағы топырақтағы уранның мөлшері 109,2 мг/кг болуына байланысты сол аймақта жоғары экологиялық қауіп төндіреді [8]. Сондықтан уран өндірісі орналасқан аймақтарда топырақ, өсімдік сынамаларындағы радионуклидтердің мөлшерін анықтау, олардың сол маңда тұратын тұрғылықты халыққа әсерін зерттеу өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Талдау

Елімізде уран өндірісі соңғы 50 жыл ішінде белсенді түрде іске асуда. Уран кенін өндіру және қайта өңдеу екінші дүниежүзілік соғыстан кейін басталды. Кеңес дәуірінде уранның шамамен 30-40% Азия аймағында өндірілген деп есептелген [9,10].

Қазіргі таңда Қазақстан уран өндіруден әлемде бірінші орын алады. 2009 жылы ол әлемдік өндірістің шамамен 28%-ын құрайтын әлемдегі жетекші уран өндіруші елге айналды. 2020 жылы Қазақстан шамамен 19500 тонна уран өндіріп, әлемдік уран өндірісінің 41%-ы тиесілі болды [11].

Уран кен орындары геологиялық ерекшеліктерімен, орналасуы бойынша алты уран кенішіне енеді: Шу-Сарысу, Сырдария, Солтүстік Қазақстан, Каспий, Балқаш және Іле [12]. Уран өндірісінің кең ауқымы Оңтүстік Қазақстандағы Шу-Сарысу және Сырдария аумақтарында шоғырланған. Оңтүстік Қазақстанда орналасқан уран өндіретін төрт кен орны (Инкай, Қаратау, Оңтүстік Инкай, Харасан) әлемдегі ірі уран өндіретін кен орындары ондығының қатарында [13]. Қазақстан уран қорының 20% Сырдария уран кеніші аудандарына тиесілі. Сырдария уран кеніші аудандарындағы өндірістік орындарға Солтүстік және Оңтүстік Қарамұрын, Иркөл, Харасан, Заречное кен орындары жатады. Негізгі уран өндірісі уран кен орындарында жерасты сілтілендіру әдісімен жүргізілуде [14].

Уран өндіретін және өңдейтін кәсіпорындар мен олармен байланысты көп жылғы геологиялық барлау жұмыстары радиоактивті қалдықтардың қалыптастыруына әкелді [15].

Уранды өнеркәсіптік өндіру аймақтарында радиоэкологиялық жағдайды зерттеу кезінде қоршаған орта объектілеріндегі радионуклидтермен қатар, ауыр металдардың мөлшері де зерттелінеді. Мысалы, Қытайда уран кеніші аймақтарында жүргізілген зерттеу жұмыстары кезінде сол аймақтан алынған топырақ сынамаларында радионуклидтердің мөлшері, сәйкесінше ^{238}U 25,81-9,58 Бк/кг; ^{226}Ra 24,85-2,77 Бк/кг; ^{232}Th 29,40-3,14 Бк/кг; ^{137}Cs 5,64-4,56 Бк/кг аралығында болса, ауыр металдардың мөлшері $\text{Pb} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Zn}$ тәртібінде кеміген [16]. Яғни топырақтағы радионуклидтердің мөлшерін анықтау арқылы оның радиоактивтілігіне баға беруге болады [17].

Топырақтың радиоактивтілігі сонымен қатар радионуклидтердің мөлшеріне ғана емес, олардың миграциясына және топырақта жинақталуына да байланысты болады. Мысалы, Моңғолия елінде уран кеніштері аймақтарында жүргізілген зерттеулер кезінде ^{226}Ra концентрациясы солтүстік және орталық аудандарда 19-30 Бк/кг, ал оңтүстік бөлігінде ^{226}Ra концентрациясы 26-3630 Бк/кг болса, ^{238}U мөлшері 100-1220 Бк/кг құраған. Бұл Моңғолиядағы басқа аймақтармен салыстырғанда жоғары мөлшерде болған. Сондай-ақ, радионуклидтердің мөлшері топырақтың төменгі қабаттарында жоғары болған, бұл топырақтың қасиеттерімен радионуклидтердің қозғалысына байланысты екендігін көрсетеді [18]. Белгілі бір аймақтың өзіндік ерекшеліктерімен, климаттық жағдайларына байланысты радионуклидтердің үш негізгі қозғалыс механизмі белгілі: 1) радионуклидтердің физика-химиялық ерекшеліктерімен, топырақтың сипаттамаларына байланысты радионуклидтердің топырақтағы тік миграциясы; 2) топырақ эрозиясымен агрегациясы нәтижесінде белгілі бір мөлшерінің азаюына әкелетін радионуклидтердің топырақтағы көлденең миграциясы; 3) топырақтың жоғары қабатындағы радионуклидтердің желмен қайта шашырауы. Радионуклидтердің қозғалыс механизмдерінен олардың жинақталуы мен миграциясы тек радионуклидтердің қасиеттеріне емес, сонымен қатар радионуклидтердің топырақпен өзара әрекеттесуіне байланысты екендігін көруге болады [19].

Радионуклидтердің топырақпен өзара әрекеттесуі және олардың миграциясы алдымен топырақтың морфологиялық қасиеттеріне байланысты. Мысалы, уран жер қыртысында орташа концентрациясы шамамен 2-3 мг/кг көлемінде топырақта және тау жыныстарында кездеседі. Ал магматикалық тау жыныстарында уранның жоғары көлемі анықталады. Сілтілі граниттерде уранның концентрациясы 100 г/т жетуі мүмкін. Карбонатты және кесекті жыныстарда уран мөлшері аз кездеседі, олардың орташа мәні кесекті жыныстар үшін 0,45-0,59 мг/кг, ал карбонатты

жыныстар үшін 2,2-2,5 мг/кг құрайды. Шөгінді жыныстардың ішінде уранның концентрациясы сазды жыныстарда жоғары, оның мөлшері 3-4 мг/кг дейін болады [20]. Уранның жоғары мөлшері сондай-ақ сулы-батпақты аймақтарда байқалады. Мысалы, Германиядағы бұрынғы уран өндірісінің қалдықтарымен ластанған сулы-батпақты аймақта шымтезекті топырақтардың құрамындағы уранның мөлшері 7500 мг/кг дейін жеткен [21].

Сонымен қатар, радионуклидтердің топырақтағы көлденең миграциясымен қатар, қазіргі кезде олардың «топырақ-өсімдік» тізбегіндегі миграциясын зерттеу маңызды. Өсімдіктер белгілі бір аумаққа тән әсер ету кешенін бағалауға мүмкіндік беретін объект болып табылады. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде радионуклидтермен бірқатар ауыр металдардың (Mn, Cr, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb) өсімдіктерге жапырақ, тамыр арқылы сіңіріліп, әртүрлі жеуге жарамды бөліктерінде жиналып және адам ағзасына тамақпен тұтынудан кейін ішкі сәулеленудің үздіксіз мөлшеріне әкелетіндігі анықталған [22]. Халықтың денсаулығына қауіп-қатер мен зиянды әсер ету дәрежесін анықтау үшін күн сайын пайдаланылатын тамақ өнімдерінде осы радионуклидтерге нақты бағалау жүргізілу қажет. Соңғы жылдары қоршаған ортадағы радионуклидтердің және олардың биологиялық объектілер үшін рөлін зерттеу жұмыстары, олардың адамдарға азық-түлік тізбегі арқылы ену жолдары қарастырылады [23].

Әлем бойынша уран өндіретін аймақтарда: Австралия, Германия, Канада, Америка Құрама Штаттары, Бразилия, Португалия, Қытай сияқты елдерде радиоэкологиялық жағдайды бағалауда жасалған зерттеу жұмыстарында топырақ, су, шөгінділердегі радионуклидтердің мөлшерімен, олардың түрлі ауыл шаруашылығы өнімдерінде жинақталуы зерттелінген (кесте 1).

Кесте 1

Уран кен орындары аймақтарындағы радионуклидтердің өсімдік түрлеріндегі салыстырмалы мөлшері (Бк/кг)

Мемлекет	Сынама үлгілері	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	Әдебиет
Қытай	өсімдіктер: шай жапырақтары (<i>Camellia sinensis</i>); картоп жапырақтары (<i>Ipomoea batatas</i>); күріш (<i>Oryza sativa</i>); шпинат (<i>Ipomoea aquatica</i>); орамжапырақтар (<i>Brassica rapa</i>)		<0.1-1.0	0.5-8.0	<31.4-150		[24]
Австралия	көкөністер: <i>Buchanania obovata</i> ; <i>Persoonia falcata</i> ; <i>Vitex accuminata</i> ; <i>Syzygiumeucalyptoides</i> ; <i>Terminalia ferdinandiana</i> ; <i>Ficus racemosa</i> ; жемістер: <i>Dioscorea transversa</i> ; <i>Vigna lanceolate</i> ; <i>Cartonemapariflorum</i> ; <i>Brachystelma glabriflorum</i> ;	<0.03-0.28	<0.004-0.12	0.18-70.5	0.042-11	0.12-1.83	[25]

Германия	саңырауқұлақтар: <i>Boletus species, Suillus species, Xerocomos species, Leccinum species, Lepiota species, Agaricus species; Lycoperda species</i>	0.01-25,9		0,03-51,2	0,06-28,9	0,10-64,0	[26]
----------	---	-----------	--	-----------	-----------	-----------	------

Кейбір ғалымдардың зерттеу нәтижесінде алынған сынамалардың ішінде сол ортаға тән өсімдіктердің тамырларымен, ауыл шаруашылығы өнімдерінің ішінде қырыққабаттың радионуклидтерді топырақтан сіңіру қабілеті жоғары екендігін көрсеткен [27].

Қазақстандағы зерттеулердің басым көпшілігі де, Ақмола облысындағы 30-дан астам уран кен орындарын қамтитын Солтүстік Қазақстан уран кенішінің қоршаған ортаға тигізетін әсерін бағалауға арналған. Сондай жұмыстардың бірінде аймақтағы радионуклидтермен ауыр металдардың «топырақ-өсімдік-жануарлар-ауыл шаруашылық өнімдері» тізбегіндегі миграциясын зерттеген. Зерттеу нәтижесінде радиоактивті ластанған аймақтардан алынған топырақ сынамаларында ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb радионуклидтерінің белсенділігі бақылау топтарынан 10-31 есе, ал As, Co, Ni, Zn, Cd, Cu, Sn ауыр металдарының концентрациясы жалпы-санитарлы нормадан сәйкесінше 161; 4; 25; 9; 18; 33; 42 есе жоғары болған. Сол аймаққа тән түрлі шөптесін өсімдіктерден алынған сынамаларда ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po мөлшері бақылау топтарынан сәйкесінше 15; 155; 54; 5; 9 есе, ал As, Pb, Co, Ni, Cu, Cd ауыр металдары 2-35 есе жоғары болған [28].

Оңтүстік Қазақстанда уран өндірудің қоршаған ортаға әсерін бағалау жұмыстары Қордай уран кенішінде жүргізілген. Зерттеу нәтижесінде радионуклидтердің қоршаған орта объектілерінің ішінде топырақ және шөгінділердің сынамаларында көптеп кездескендігін анықтаған. Сондай-ақ, зерттеу кезінде аймақтағы доминантты өсімдіктермен (*Patrinia intermedies*, *Elytrigia repens* L., *Althaca officinalis*), су асты мүктерінен әрі қарай зерттеуге үлгілер жинақталған. Алынған үлгілерден ^{238}U концентрациясының максималды деңгейі *P.intermedies*, *E. repens* L, су асты мүктерінен анықталған, олар сәйкесіншесынамасалмағының 3; 0,5; 500 Бк/кг құраған, ал ^{226}Ra концентрация деңгейлері сәйкесінше 21;18;130 Бк/кг, As үшін тиісті деңгейлері 0,2; 0,05; 2 мг/кг болған. Сондай-ақ, *Patrinia intermedies* өсімдігінің әртүрлі бөліктеріндегі (тамыр, сабақ, жапырақ) радионуклидтер мен микроэлементтер мөлшерін салыстыра келе, олардың тамырда жоғары екендігі көрсетілген [29].

Осыған ұқсас зерттеу жұмыстары Португалияда бұрынғы уран кен орнында жүргізілген. Зерттеу кезінде топырақ пен судағы, сол ортаға тән жер үсті және су асты өсімдіктерінің құрамындағы радионуклидтердің мөлшері анықталған. Уранның концентрациясы топырақ үшін 7,5–557 мг/кг және су сынамалары үшін 0,4–113 мкг/л аралығында болған. Уранның көп мөлшерде жинақталуы жер үсті өсімдіктерінің тамырларында тіркелген: *Juncus squarrosus* (450 мг/кг), *Carlina corymbosa* (181 мг/кг) және *Juncus bufonius* (39,9 мг/кг), ал су асты өсімдіктерінде: *Callitriche stagnalis* (55,6 мг/кг) *Lemna minor* (53,0 мг/кг) және *Riccia fluitans* (50,6 мг/кг). Зерттеу нәтижесінде жер үсті өсімдіктерінің тамырларында радионуклидтердің мөлшерінің жоғары болғанын көрсетеді [30].

Радионуклидтердің өсімдіктердің тамыр бөлігінде көп кездесуі, радионуклидтердің топырақтың жоғары қабатында болу уақытына байланысты. Радионуклидтердің топырақта баяу қозғалуы және миграция жылдамдығының төмен болуы радионуклидтердің өсімдіктердің тамыр аймағында ұзақ болуына әкеледі, сондықтан радионуклидтердің өсімдікке сіңу ықтималдығын арттырады [31].

Алайда, кейбір аймақтарда топырақтың түрімен, сол аймақтың климаттық факторларына байланысты радионуклидтердің мөлшері өсімдіктердің тамырында емес, жер үсті бөліктерінде жоғары болуы мүмкін. Мысалы, Ақтау қаласындағы бұрынғы екі уран кенішімен уран өңдеу

зауытының іргелес аудандарға тигізетін радиоэкологиялық әсерін зерттеу жұмыстары кезінде өсімдік үлгілеріндегі ^{238}U , ^{232}Th мөлшерін анықтап, оларды ластанбаған жерлерден алынған сол өсімдік түріндегі (*Artemisia austriaca*) үлгілермен салыстырған. Нәтижесінде бақылау аймағынан алынған өсімдіктердің сынамаларында радионуклидтердің мөлшері жапырақтарымен тамырында көп кездесе, зерттеу аймағындағы өсімдіктерде олардың мөлшері жапырақтарымен сабақтарында жоғары болған. Бұл зерттелген аймақтың климаттық факторларына байланысты тамыр жүйесінің нашар жетілудінен радионуклидтердің тамырда аз мөлшерде болғанын, алайда шаңды желдердің әсерінен радионуклидтер өсімдіктердің жер үсті бөліктерінде көптеп кездескенін көрсетті [32].

Радионуклидтердің топырақтан өсімдіктерге миграциясы өсімдіктің тамыр жүйесіне, минералды сіңіругіне, калий, кальций және басқа да қоректік заттарға қажеттілігіне де байланысты болады [33].

Жалпы алғанда, өсімдіктердің топырақтан радионуклидтермен ауыр металдарды сіңіруі қоршаған ортаның факторларына: топырақтың құрылымы мен химиялық қасиеттеріне, рН, ылғалдылығына, органикалық заттардың құрамына, ион алмасу қабілетіне және радионуклидтердің концентрациясына және т.б. байланысты [34]. Мысалы, Сібірде жүргізілген зерттеулерден радионуклидтердің орманды, бұталы және шөпті өсімдіктермен жинақталуы, әсіресе күлгін топыраққа қарағанда, шымды күлгін топырақта жинақталу мөлшерінен жоғары екенін анықтаған [35].

Елімізде жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижесінде топырақтағы радионуклидтердің жинақталуы және олардың миграциясы- топырақтың негізгі көрсеткіштеріне және де зерттелетін аймақтың метеорологиялық, гидрологиялық жағдайларына байланысты өзгеретіндігін көрсетті [36]. Өсімдіктерді суғаратын судың, жауын-шашынның мөлшері, топырақты өңдеу процестері, жер асты сулары өсімдіктердің құрамындағы радионуклидтердің мөлшерін анықтайды [37].

Елімізде жүргізілген зерттеулердің басым көпшілігі техногенді ластанған аймақтарда, әсіресе бұрынғы Семей сынақ полигон аймақтарында жасанды радионуклидтердің өсімдіктерде жинақталуы деңгейі, сонымен қатар радиоактивті ластанудың өсімдіктердің морфо-анатомиялық құрылысына тигізген әсері бағаланған. Зерттеудің нәтижесінде ұзақ мерзімді созылмалы сәулеленудің әсерінен сабақтағы және жапырақтағы кейбір анатомиялық белгілердің өзгерісі- қоршаған ортаның техногендік ластануының көрсеткіші болуы мүмкінді көрсетілген [38].

2 кестеде радионуклидтердің топырақ, өсімдіктердегі концентрацияларын анықтап, радионуклидтердің топырақтан өсімдікке ауысу коэффициенттерін бағалау бағытындағы зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсетілген.

Кесте 2

Радионуклидтердің топырақтан өсімдіктерге ауысу коэффициенттері

Мемлекет	Сынама үлгілері	^{238}U	^{226}Ra	$^{232}\text{Th}/^{228}\text{R}$ a	^{137}Cs	Әдебиеттер
Қытай (уран кеніші)	Өсімдіктер: <i>Lupinus albus</i> , <i>Brassica chinensis</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Zea mays</i>	0.005- 0.037	0.006- 0.034	0.00013- 0.00214		[39]
Нигерия (тау-кенаудандары)	Өсімдік: <i>Manihot esculenta</i>	0.01- 0.90		0.006-1.54		[40]

Сирия	көкөніс дақылдары (жасыл бұрыш, қияр, қызанақ, баклажан), бұршақ дақылдары (жасымық, бұршақ), жеміс ағаштары (алма, жүзім, зәйтүн), дәнді дақылдар (арпа, бидай)	0.003-0.12	0.008			[41]
Вьетнам (уран кеніші)	<i>A.auriculiformis</i>	0.006-0.380	0-0.344	0.017-0.655	0-3.433	[42]
Бангладеш	Өсімдіктер: <i>Acalypha indica, Vasopa tonniera, Lantana camara, Solanum nigrum, Synedrella nodiflora</i>		0.045-0.070	0.064-0.108	0.04-0.075	[43]

Қорытынды

Келтірілген әдеби шолудың нәтижелері радионуклидтер мен ауыр металдардың мөлшерінің жоғары болуын, олардың өсімдіктерде әртүрлі деңгейде таратылатынын көрсетеді. Уран өндірісі аймағында тұратын халық үшін ішкі сәулеленудің әсерін болжау мақсатында радионуклидтердің топырақ, өсімдіктегі мөлшерін анықтау, олардың ары қарай тасымалдану деңгейіне баға беру маңызды.

Қаржыландыру. Ғылыми жұмыс «Сырдария уран рудасы провинциясының қоршаған ортасы мен тұрғындарының денсаулығы үшін негативті техногендік қауіп фактораларын нивелирлеу әдістерін әзірлеу» (2021-2023) атты ғылыми-техникалық жобасы аясында жүргізілді (тапсырыс беруші ҚР Білім және ғылым министрілігінің ғылым комитеті ИРН АР09261243).

Әдебиеттер тізімі

1. Jananee B., Rajalakshmi A., Thangam V., Manikanda Bharath K., Sathish V. Natural radioactivity in soils of Elephant hills, Tamilnadu, India // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2021. – Vol. 329. – P.1 261-268.
2. Ahmed R.S. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy // Environmental Forensics. – 2020. – Vol. 22. – P. 1-8.
3. Jebur J.H., Ismail Al-Sudani Z.A., Fleifil S.S. Measure the rate of Radiation Activity in Soil sample from the depth of Sindbad land in Basrah Governorate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Iraq, 2019.
4. Rasha S.A. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy // Environmental Forensics. – 2021. – Vol. 22. –P. 91-98.
5. Vaiserman A.M. Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment // Dose Response. – 2010. –Vol. 8. – P. 172-191.

6. Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review // Eurasian Soil Science. – 2011. – Vol. 44. – P. 862-873.
7. Li R., Dong F., Yang G., Zhang W., Zong M., Nie X., Zhou L., Babar A., Liu J.F., Ram B.K., Fan C.J., Zeng Y. Characterization of arsenic and uranium pollution surrounding a uranium mine in southwestern China and phytoremediation potential// Polish Journal of Environmental Studies. – 2020. – Vol. 29. – P. 173-185.
8. Antunes S.C., Castro B.B., Pereira R., Gonçalves F. Contribution for tier 1 of the ecological risk assessment of Cunha Baixa uranium mine (Central Portugal): II. Soil ecotoxicological screening // Science of the Total Environment. – 2008. – Vol. 390. – P. 387-395.
9. Stegnar P., Shishkov I., Burkitbayev M., Tolongutov B., Yunusov M., Radyuk R., Salbu B. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 123. – P. 3-13.
10. Salbu B. Preface: uranium mining legacy issue in Central Asia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 123. – P. 1-2.
11. World Nuclear Association website. Uranium and Nuclear Power in Kazakhstan. [Электронный ресурс] – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/kazakhstan.aspx/> (дата обращения: 15.02.2022).
12. Matveyeva I., Jacimović R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan) // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – Vol. 299. – P. 1399-1409.
13. World Nuclear Association website. Uranium Mining Overview. [Электронный ресурс] – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx> (дата обращения: 21.02.2022).
14. Tastenov A. Nuclear Industry in Kazakhstan: Prospects for Growth // KazEnergy. – 2010. – Vol. 6. – P. 90-92.
15. Шишков И.А., Каюков П.Г. Радиоэкологические проблемы Республики Казахстан, связанные с разведкой и разработкой месторождений урана // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2013. – Т. 5, № 401. – С. 69-78.
16. Bai H., Hu B., Wang C., Bao S., Sai G., Xu X., Li Y. Assessment of Radioactive Materials and Heavy Metals in the Surface Soil around the Bayanwula Prospective Uranium Mining Area in China// International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14.
17. Mohebian M., Pourimani R. Specific activity and radiation hazard of radionuclides in wheat and bean produced near Shazand, Iran // Iranian Journal of Medical Physics. – 2020. – Vol. 17. – P. 394-400.
18. Omori Y., Sorimachi A., Gun-Aajav M., Enkhgerel N., Munkherdene G., Oyunbolor G., Yamada C. Gamma dose rate distribution in the Unegt subbasin, a uranium deposit area in Dornogobi Province, southeastern Mongolia // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – Vol. 26. – P. 33494-33506.
19. Aba A., Omar Al-Boloushi, Anfal Ismaeel, Salman Al-Tamimi. Migration behavior of radiostrontium and radiocesium in arid-region soil // Chemosphere. – 2021. – Vol. 281.
20. Missimer T.M., Teaf C., Maliva R.G., Danley-Thomson A., Covert D., Hegy M. Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of southern Florida with a discussion on potential health impacts // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16.
21. Schoner A., Noubactep C., Buchel G., Sauter M. Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention // Chemie Der Erde-Geochemistry. – 2009. – Vol. 69. – P. 91-107.

22. Pulhani V.A., Dafauti S., Hegde A.G., Sharma R. M., Mishra U.C. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2005. – Vol. 79. – P. 331-346.
23. Jazzar M.M., Thabayneh K.L. Transfer of Natural Radionuclides from Soil to Plants and Grass in the Western North of West Bank Environment- Palestine // *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. – 2014. – Vol. 2. – P. 252-258.
24. Yang B., Zhou Q., Zhang J., Li Z., Tuo F. Evaluation of the natural radioactivity in food and soil around uranium mining region // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 329. – P. 127-133.
25. Iles M. Uranium-series radionuclides in native fruits and vegetables of northern Australia // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2005. – Vol. 264. – P. 407-412.
26. Wichterey K., Sawallisch S. Naturally occurring radionuclides in mushrooms from uranium mining regions in Germany // *Radioprotection*. – 2002. – Vol. 37. – P. 353-358.
27. Banzi F.P., Msaki P.K., Mohammed N.K. Distribution of Heavy Metals in Soils in the Vicinity of the Proposed Mkuju Uranium Mine in Tanzania// *Environment and Pollution*. – 2015. – Vol. 4. – P. 42-50.
28. Имашева Б.С., Казымбет П.К. Миграция естественных радионуклидов и тяжелых металлов в системе: почва-растение-животные-продукция сельского хозяйства. – Научные труды Института радиобиологии и радиационной защиты АО «Медицинский университет Астана»: Астана, 2014. – 296 с.
29. Salbu B., Burkitbaev M., Strømman G., Shishkov I., Kayukov P., Uralbekov B., Rosseland B.O. Environmental impact assessment of radionuclides and trace elements at the Kurday U mining site, Kazakhstan // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – Vol. 123. – P.14-27.
30. Favas P.J.C., Pratas J., Mitra S., Sarkar S.K., Venkatachalam P. Biogeochemistry of uranium in the soil-plant and water-plant systems in an old uranium mine // *Science of The Total Environment*. – 2016. – Vol. 568. – P. 350-368.
31. Khandaker M.U., Mohd Nasir N.L., Asaduzzaman K., Olatunji M.A., Amin Y.M., Kassim H.A., Bradley D.A., Jojo P.J., Alrefae T. Evaluation of radionuclides transfer from soil-to-edible flora and estimation of radiological dose to the Malaysian populace // *Chemosphere*. – 2016. –Vol. 154. – P. 528-536.
32. Zoriy P., Ostapczuk P., Dederichs H., Hobig J., Lennartz R., Zoriy M. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan. *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2010. – Vol. 101. – P. 414-420.
33. Коровина А.А. Модель миграции радионуклидов в системе почва-растения-животные. [Электронный ресурс] – URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/201801465> (дата обращения: 05.03.2022).
34. Sotiropoulou M., Florou H. Measurement and calculation of radionuclide concentration ratios from soil to grass in semi-natural terrestrial habitats in Greece // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2021. – Vol. 237.
35. Shvetsov S.G., Voronin V.I. Distribution of Uranium and Thorium in Soil and Woody Plants of Eastern Siberia (Irkutsk Region) // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. – 2019. – Vol. 12. – P. 86-100.
36. Аскарлова Г.Ш., Наренова С.М., Нурмаханова Д.М., Асанова Г.Ж. Оценка воздействия урановой промышленности на экологическое состояние почвы // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – Vol. 2. – P. 603-606
37. Fahd A.A., Shahab R.M., Wannas A.H., Ahmed H. El-D., Mohamed A.A., Mahmoud M.Sh. Study of the movement and transfer of depleted uranium in the soil of the southern regions of Iraq // *Conference on the effects of the use of depleted uranium on humans and the environment in Iraq*.

– Baghdad, 2002. – P. 26-27.

38. Айдосова С.С., Ахтаева Н.З., Ахметова А.Б. Морфо-анатомическая структура и адаптационные признаки растений в условиях техногенного загрязнения. – Алматы: Қазақ университеті, 2012. – 208 с.

39. Chen S.B., Zhu Y.G., Hu Q.H. Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on a uranium mining-impacted soil from southeastern China // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol. 82. – P. 223-236.

40. Adesiji N.E., Ademola, J.A. Soil-to-cassava plant transfer factor of natural radionuclides on a mining impacted soil in a tropical ecosystem of Nigeria // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – Vol. 201. – P. 1-4.

41. Al-Masri M.S., Al-Akel B., Nashawani A., Amin Y., Khalifa K.H., Al-Ain F. Transfer of ⁴⁰K, ²³⁸U, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po from soil to plant in various locations in south of Syria // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – Vol. 99. – P. 322-331.

42. Duong V.H., Nguyen T.D., Kocsis E., Csordas A., Hegedus M., Kovacs T. Transfer of radionuclides from soil to *Acacia auriculiformis* trees in high radioactive background areas in North Vietnam // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 229-230.

43. Chakraborty S.R., Azim R., Rahman A.R., Sarker R. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh // Journal of Physical Sciences. – 2013. – Vol. 24. – P. 95-113.

Э.М. Мусаева, М.М. Бахтин

*НАО «Медицинский университет Астана», Институт радиобиологии и радиационной защиты,
Астана, Казахстан*

Оценка миграции радионуклидов в цепи «почва-растение»-уранодобывающих регионов (литературный обзор)

Аннотация. Известно, что в результате деятельности горнодобывающей промышленности на поверхность могут быть извлечены радионуклиды и химические вещества, обладающие активным мутагенным и канцерогенным действием. Особую опасность могут представлять продукты утилизации, такие как радиоактивные отходы и другие. В связи с этим возникает необходимость в регулярном мониторинге мест хранения таких отходов и степени миграции радионуклидов и тяжелых металлов в объектах окружающей среды.

В данной обзорной статье рассматриваются современные данные по исследованию степени миграции радионуклидов в цепи «почва-растение» в уранодобывающих регионах.

Ключевые слова: радионуклиды, миграция радионуклидов, почва, растение, урановая руда.

E.M. Mussayeva, M.M. Bakhtin

Astana Medical University, Institute of radiobiology and Radiation Protection, Astana, Kazakhstan

Assessment of radionuclides in the "soil-plant" chain of uranium mining regions (literature review)

Abstract. It is well known that as a result of the activities of the mining industry, radionuclides and chemicals with active mutagenic and carcinogenic effects can be extracted to the surface. Disposal products, such as radioactive waste and others, may cause particular danger. In this regard, this requires regular monitoring of radioactive waste storage sites and the degree of migration of radionuclides and heavy metals in environmental objects.

This review article considers the uranium ore region's current data for the content of radionuclides in soil, vegetation, and their migration in the "soil-plant" chain.

Keywords: radionuclides, migration of radionuclides, soil, plant, uranium ore.

References

1. Jananee B., Rajalakshmi A., Thangam V., Manikanda Bharath K., Sathish V. Natural radioactivity in soils of Elephant hills, Tamilnadu, India, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329, 1261-1268 (2021).
2. Ahmed R.S. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy, *Environmental Forensics*, 22, 1-8 (2020).
3. Jebur J.H., Ismail Al-Sudani Z.A., Fleifil S.S. Measure the rate of Radiation Activity in Soil sample from the depth of Sindbad land in Basrah Governorate, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Iraq (2019).
4. Rasha S.A. A review on soil radionuclide distribution in Iraq analysed using gamma ray spectroscopy, *Environmental Forensics*, 22, 91-98 (2021).
5. Vaiserman A.M. Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment, *Dose Response*, 8, 172-191 (2010).
6. Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review, *Eurasian Soil Science*, 44, 862-873 (2011).
7. Li R., Dong F., Yang G., Zhang W., Zong M., Nie X., Zhou L., Babar A., Liu J.F., Ram B.K., Fan C.J., Zeng Y. Characterization of arsenic and uranium pollution surrounding a uranium mine in southwestern China and phytoremediation potential, *Polish Journal of Environmental Studies*, 29, 173-185 (2020).
8. Antunes S.C., Castro B.B., Pereira R., Gonçalves F. Contribution for tier 1 of the ecological risk assessment of Cunha Baixa uranium mine (Central Portugal): II. Soil ecotoxicological screening, *Science of the Total Environment*, 390, 387-395 (2008).
9. Stegnar P., Shishkov I., Burkitbayev M., Tolongutov B., Yunusov M., Radyuk R., Salbu B. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 3-13 (2013).
10. Salbu B. Preface: uranium mining legacy issue in Central Asia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 1-2 (2013).
11. 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: 15.02.2022).
12. Matveyeva I., Jacimović R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan), *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299, 1399-1409 (2014).
13. World Nuclear Association website. Uranium Mining Overview. [Electronic resource] – Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx> (Accessed: 21.02.2022).
14. Tastenov A. Nuclear Industry in Kazakhstan: Prospects for Growth, *KazEnergy*, 6, 90-92 (2010).
15. SHishkov I.A., Kayukov P.G. Radioekologicheskie problemy Respubliki Kazahstan, svyazannye s razvedkoj i razrabotkoj mestorozhdenij urana, *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk* [Radioecological problems of the Republic of Kazakhstan related to the exploration and development of uranium deposits, *News of NAS RK. Series of geology and technical sciences*], 5, 69-78 (2013). [in Russian]

16. Bai H., Hu B., Wang C., Bao S., Sai G., Xu X., Li Y. Assessment of Radioactive Materials and Heavy Metals in the Surface Soil around the Bayanwula Prospective Uranium Mining Area in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (2017).
17. Mohebian M., Pourimani R. Specific activity and radiation hazard of radionuclides in wheat and bean produced near Shazand, Iran, *Iranian Journal of Medical Physics*, 17, 394-400 (2020).
18. Omori Y., Sorimachi A., Gun-Aajav M., Enkhgerel N., Munkherdene G., Oyunbolor G., Yamada C. Gamma dose rate distribution in the Unegt subbasin, a uranium deposit area in Dornogobi Province, southeastern Mongolia, *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 33494-33506 (2019).
19. Aba A., Omar Al-Boloushi, Anfal Ismaeel, Salman Al-Tamimi. Migration behavior of radiostrontium and radiocesium in arid-region soil, *Chemosphere*, 281 (2021).
20. Missimer T.M., Teaf C., Maliva R.G., Danley-Thomson A., Covert D., Hegy M. Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of southern Florida with a discussion on potential health impacts, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (2019).
21. Schoner A., Noubactep C., Buchel G., Sauter M. Geochemistry of natural wetlands in former uranium milling sites (eastern Germany) and implications for uranium retention, *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 69, 91-107 (2009).
22. Pulhani V.A., Dafauti S., Hegde A.G., Sharma R. M., Mishra U.C. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331-346 (2005).
23. Jazzar M.M., Thabayneh K.L. Transfer of Natural Radionuclides from Soil to Plants and Grass in the Western North of West Bank Environment- Palestine, *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2, 252-258 (2014).
24. Yang B., Zhou Q., Zhang J., Li Z., Tuo F. Evaluation of the natural radioactivity in food and soil around uranium mining region, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329, 127-133 (2021).
25. Iles M. Uranium-series radionuclides in native fruits and vegetables of northern Australia, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 264, 407-412 (2005).
26. Wichterey K., Sawallisch S. Naturally occurring radionuclides in mushrooms from uranium mining regions in Germany, *Radioprotection*, 37, 353-358 (2002).
27. Banzi F.P., Msaki P.K., Mohammed N.K. Distribution of Heavy Metals in Soils in the Vicinity of the Proposed Mkuju Uranium Mine in Tanzania, *Environment and Pollution*, 4, 42-50 (2015).
28. Imasheva B.S., Kazymbet P.K. Migraciya estestvennyh radionuklidov i tyazhelyh metallov v sisteme: pochva-rastenie-zhivotnye-produkciya sel'skogo hozyajstva [Migration of natural radionuclides and heavy metals in the system: soil-plant-animals agricultural products] (Scientific works of the Institute of Radiobiology and Radiation Protection of JSC "Astana Medical University", Astana, 2014, 296 p.). [in Russian]
29. Salbu B., Burkitbaev M., Strømman G., Shishkov I., Kayukov P., Uralbekov B., Rosseland B.O. Environmental impact assessment of radionuclides and trace elements at the Kurday U mining site, Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 123, 14-27 (2013).
30. Favas P.J.C., Pratas J., Mitra S., Sarkar S.K., Venkatachalam P. Biogeochemistry of uranium in the soil-plant and water-plant systems in an old uranium mine, *Science of The Total Environment*, 568, 350-368 (2016).
31. Khandaker M.U., Mohd Nasir N.L., Asaduzzaman K., Olatunji M.A., Amin Y.M., Kassim H.A., Bradley D.A., Jojo P.J., Alrefae T. Evaluation of radionuclides transfer from soil-to-edible flora and estimation of radiological dose to the Malaysian populace, *Chemosphere*, 154, 528-536 (2016).
32. Zoriy P., Ostapczuk P., Dederichs H., HobigJ., Lennartz R., Zoriy M. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 101, 414-420 (2010).

33. Korovina A.A. Model' migracii radionuklidov v sisteme pochva-rasteniya-zhivotnye [Model of radionuclide migration in the soil-plants-animals system]. [Electronic resource] – Available at: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018014651/> (Accessed: 05.03.2022). [in Russian]
34. Sotiropoulou M., Florou H. Measurement and calculation of radionuclide concentration ratios from soil to grass in semi-natural terrestrial habitats in Greece, *Journal of Environmental Radioactivity*, 237 (2021).
35. Shvetsov S.G., Voronin V.I. Distribution of Uranium and Thorium in Soil and Woody Plants of Eastern Siberia (Irkutsk Region), *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 12, 86-100 (2019).
36. Askarova G.S.H., Narenova S.M., Nurmahanova D.M., Asanova G.Z.H. Ocenka vozdeystviya uranovoj promyshlennosti na ekologicheskoe sostoyanie pochvy, *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [Assessment of the impact of the uranium industry on the ecological state of the soil, *International Journal of Applied and Fundamental Research*], 2, 603-606 (2016). [in Russian]
37. Fahd A.A., Shahab R.M., Wannas A. H., Ahmed H. El-D., Mohamed A.A., Mahmoud M.Sh. Study of the movement and transfer of depleted uranium in the soil of the southern regions of Iraq, *Conference on the effects of the use of depleted uranium on humans and the environment in Iraq, Baghdad*, 26-27 (2002).
38. Ajdosova S.S., Ahtaeva N.Z., Ahmetova A.B. Morfo-anatomicheskaya struktura i adaptacionnye priznaki rastenij v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya [Morpho-anatomical structure and adaptive characteristics of plants in conditions of technogenic pollution] (*Kazakh universiteti*, 2012, 208 s.) [Kazakh university, Almaty, 2012, 208 p.]. [in Russian]
39. Chen S.B., Zhu Y.G., Hu Q.H. Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on a uranium mining-impacted soil from southeastern China, *Journal of Environmental Radioactivity*, 82, 223-236 (2005).
40. Adesiji N.E., Ademola, J.A. Soil-to-cassava plant transfer factor of natural radionuclides on a mining impacted soil in a tropical ecosystem of Nigeria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 201, 1-4 (2019).
41. Al-Masri M.S., Al-Akel B., Nashawani A., Amin Y., Khalifa K.H., Al-Ain F. Transfer of ⁴⁰K, ²³⁸U, ²¹⁰Pb, and ²¹⁰Po from soil to plant in various locations in south of Syria, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, 322-331 (2008).
42. Duong V.H., Nguyen T.D., Kocsis E., Csordas A., Hegedus M., Kovacs T. Transfer of radionuclides from soil to *Acacia auriculiformis* trees in high radioactive background areas in North Vietnam, *Journal of Environmental Radioactivity*, 229-230 (2021).
43. Chakraborty S.R., Azim R., Rahman A.R., Sarker R. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh, *Journal of Physical Sciences*, 24, 95-113 (2013).

Авторлар туралы мәлімет:

Мусаева Э.М. – магистрант, Радиобиология және радиациялық қорғау институты, «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан.

Бахтин М.М. – б.ғ.д., профессор, директор, Радиобиология және радиациялық қорғау институты, «Астана медицина университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан.

Mussayeva E.M. – master's student, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.

Bakhtin M.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director, Institute of Radiobiology and Radiation Protection, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.