ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCE

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), 2-том. 533–538 б.
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24367312
Журнал сайты: https://cajournal.kz

ӘОЖ 76.33.39

КОНСЕРВАЦИЯЛАНҒАН УРАН ОБЪЕКТІЛЕРІНЕ ЖАҚЫН ХАЛЫҚТЫҢ БИОМОНИТОРИНГІ (ӘДЕБИ ШОЛУ)

А.С. Шапиева, А.Б. Берікова
Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан Республикасы

Шапиева А.С. — Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан Республикасы.

Берікова А.Б. — Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан Республикасы.

Ғылыми жетекші: Бахтин М.М. — Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан Республикасы.

© А.С. Шапиева, А.Б. Берікова, 2026

Аңдатпа: Бұл мақалада уран өндіретін және консервацияланған уран объектілеріне жақын орналасқан аумақтарда тұратын халықтың биологиялық үлгілеріндегі уранның жинақталуы және оның ықтимал радиациялық әсер маркерлері қарастырылады. Уранның қоршаған ортадағы миграциясы, адам ағзасына түсу жолдары және несеп, шаш пен тырнақтағы уранды анықтаудың биомониторингтік мүмкіндіктері талданды.

Түйін сөздер: уран, биомониторинг, радиациялық қауіпсіздік, биологиялық үлгілер, несеп, шаш, тырнақ, ішкі сәулелену.

Кіріспе

Уран (U) – атомдық нөмірі 92 болатын табиғи радиоактивті элемент. Ол табиғи ортада негізінен ^{238}U (99,27 %), ^{235}U (0,72 %) және ^{234}U (0,005 %) изотоптары түрінде кездеседі [1; 2]. Уранның қоршаған ортадағы таралуы геологиялық жағдайларға, тау жыныстарының құрамына және антропогендік қызметке байланысты.

Қазақстан уран қоры мен өндіру көлемі бойынша әлемдегі жетекші мемлекеттердің бірі болып табылады. Ел аумағында уранның негізгі кен орындары бірнеше уран провинцияларында шоғырланған, олардың ішінде Шу-Сарысу, Солтүстік Қазақстан және Сырдария провинцияларының маңызы жоғары. Уран өндірудің жоғары деңгейі Қазақстандағы радиоэкологиялық мониторинг пен халықтың радиациялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелерінің өзектілігін арттырады [3; 4].

Уран кендерін өндіру, өңдеу және кейіннен консервациялау қоршаған орта мен халық үшін ұзақ мерзімді радиоэкологиялық қауіптердің сақталуына әкелуі мүмкін. Уранның қауіптілігі оның радиологиялық қасиеттерімен қатар ауыр металл ретіндегі химиялық уыттылығымен байланысты. Адам ағзасына уран негізінен ауыз су, тағам және ингаляциялық жолдар арқылы түседі [5].

Кен орындарын пайдалану тоқтатылғаннан кейін де радиоактивті қалдықтар, ластанған топырақ, радионуклидтердің суға көшуі және радиоактивті шаң сияқты факторлар ықтимал әсер көздері болып қала береді [6; 7]. Ұзақ мерзімді әсер жағдайында уранның бүйрекке және басқа мүшелерге химиялық-уытты әсері маңызды болып саналады [8; 9].

Халықтың уранмен ішкі экспозициясын бағалауда биомониторинг маңызды әдіс болып табылады. Несептегі уран мөлшерін анықтау ағзаға уранның түсуі мен шығарылуын бағалауға мүмкіндік береді, ал шаш пен тырнақ ұзақ мерзімді жинақталуды сипаттайтын

перспективалы биомаркерлер болып табылады [10; 11; 12; 13].

Қазіргі зерттеулердің едәуір бөлігі белсенді уран өндіру аудандарында немесе радиоактивті қалдықтар орналасқан аумақтарда жүргізілген. Қазақстандағы консервацияланған уран объектілерінің маңында тұратын халықта уранның созылмалы әсерін несеп, шаш және тырнақ үлгілерін кешенді пайдалана отырып бағалау мәселесі жеткілікті зерттелмеген.

Шолудың мақсаты – уран өндіретін және консервацияланған уран объектілеріне жақын орналасқан халықтың несеп, шаш және тырнақ үлгілеріндегі уранның жинақталуына арналған отандық және шетелдік зерттеулерді талдау және осы саладағы ғылыми олқылықтарды анықтау.

Уран өндіру және консервацияланған уран объектілеріне жақын аумақтарда тұратын халықтың уран әсерін бағалау қоршаған орта мониторингі мен халықтың биомониторингін кешенді түрде жүргізуді талап етеді. Биологиялық үлгілердегі уран мөлшерін анықтау адамның ішкі экспозициясын бағалауға мүмкіндік береді. Несеп ағымдағы уран түсуін сипаттайтын негізгі биомаркер ретінде, ал шаш пен тырнақ уранның ұзақ мерзімді әсерін бағалаудың қосымша көрсеткіштері ретінде қарастырылады. Биомониторинг нәтижелерін ауыз су, топырақ және басқа қоршаған орта объектілерінің көрсеткіштерімен салыстыру уранның адам ағзасына түсу жолдарын және ықтимал радиациялық қауіпті нақтырақ бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу сипаттамалық, салыстырмалы және аналитикалық тәсілдерге негізделген әдеби шолу түрінде жүргізілді. Ғылыми жарияланымдарды іздеу Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, eLibrary және CyberLeninka деректер базаларында жүргізілді. Қосымша ретінде IAEA, WHO және UNSCEAR халықаралық ұйымдарының ғылыми-техникалық құжаттары пайдаланылды.

Шолуға негізінен 2011-2026 жылдары жарияланған ғылыми еңбектер енгізілді. Уранның биокинетикасы мен биомониторингіне арналған бұрынғы іргелі зерттеулер қосымша дереккөз ретінде қарастырылды. Қазақстан, Сербия, Ирак, Финляндия, Швейцария және Оңтүстік Африкада жүргізілген зерттеулерге басымдық берілді.

Іріктеу критерийлері: уран өндіретін немесе қалдық сақтау объектілеріне жақын тұратын халықтың биологиялық үлгілеріндегі уранды зерттеу; несеп, шаш және тырнақты биомаркерлер ретінде пайдалану; уранның қоршаған ортадан адам ағзасына түсу жолдарын бағалау және биологиялық үлгілердегі уранды анықтау әдістерін сипаттау. Талдау барысында зерттеу популяциясы, биологиялық материал түрі, уранды анықтау әдісі және негізгі нәтижелер салыстырылды.

Нәтижелер мен талқылау

Әдеби деректерді салыстырмалы талдау уран өндіретін немесе консервацияланған уран объектілеріне жақын тұратын халықтың биомониторингіне арналған зерттеулердің саны шектеулі екенін көрсетті. Көптеген жұмыстар қоршаған ортадағы уран мөлшерін немесе жекелеген биологиялық субстраттарды бағалауға бағытталған.

Қазақстандағы зерттеулер уран өндіру аудандарындағы радиациялық жағдайдың геологиялық және антропогендік факторларға тәуелді екенін көрсетті. Бижанова мен Бахтин уран өндіру және радиоактивті қалдықтарды сақтау объектілеріне жақын аумақтарда қоршаған орта компоненттеріндегі уранның таралуын сипаттап, биологиялық үлгілерді зерттеудің маңызын атап өткен. Aumalikova зерттеуінде Солтүстік Қазақстан және Шу-Сарысу провинцияларындағы радиациялық жағдай бағаланып, жекелеген учаскелерде радон және табиғи радионуклидтер деңгейінің жоғарылағаны көрсетілген. Жалпы, Қазақстандағы зерттеулер қоршаған ортадағы уранның таралуын сипаттағанымен, экологиялық мониторинг адамның ағзасына нақты түскен уран мөлшерін тікелей көрсетпейді. Сондықтан қоршаған орта мониторингін биомониторингпен толықтыру қажет.

Уранның адам ағзасына түсуінің негізгі жолдарына ауыз су, тағам және ластанған ауа мен шаңды ингаляциялау жатады. Ағзаға түскен уранның едәуір бөлігі несеп арқылы

шығарылады, ал белгілі бір бөлігі сүйек, бүйрек және басқа тіндерде жиналуы мүмкін.

Уран асқазан-ішек жолы мен өкпе арқылы сіңіп, қан айналымы арқылы ағза мүшелеріне таралады. Оның химиялық уыттылығы, әсіресе бүйрекке әсері, ұзақ мерзімді экспозиция кезінде маңызды болып табылады.

Уранның төмен мөлшері қоршаған ортада табиғи түрде кездеседі. Алайда ұзақ мерзімді әсер кезінде оның химиялық және радиологиялық қасиеттері денсаулыққа ықтимал қауіп тудыруы мүмкін.

Уранның ұзақ мерзімді әсері оның химиялық-уытты және радиологиялық қасиеттерімен байланысты. Негізгі нысана-мүше – бүйрек, себебі уранның еритін қосылыстары бүйрек арқылы шығарылады және проксимальді өзекшелерге әсер етуі мүмкін.

Уранның бір бөлігі сүйек тінінде ұзақ сақталуы мүмкін. Сонымен қатар оның әсері оксидативті стресс және жасушалық зақымдану механизмдерімен байланысты болуы ықтимал.

Уран өндіру және қалдық сақтау объектілеріне жақын орналасқан аумақтарда жүргізілген зерттеулер халықтың биологиялық үлгілерінде уран мөлшерінің жоғарылауы мүмкін екенін көрсетеді. Мысалы, Оңтүстік Африкадағы қалдық сақтау қоймаларына жақын тұратын балалардың шашындағы уран мөлшері бақылау тобымен салыстырғанда жоғары болған [14; 15]. Осылайша, уранның созылмалы әсерін бағалау кезінде химиялық уыттылықпен қатар оның ішкі сәулелену ерекшеліктерін де ескеру қажет.

Несеп уранның биомониторингі үшін кеңінен қолданылатын биологиялық материал болып табылады. Оның негізгі артықшылықтары – үлгі алудың инвазивті еместігі және ағзаға уранның жақында түсуі мен шығарылуын бағалау мүмкіндігі. Несептегі уран ағымдағы ішкі экспозицияның маңызды биомаркері болып саналады.

Қазақстанда уран өнеркәсібі қызметкерлері мен жақын орналасқан елді мекен тұрғындарының несеп үлгілерін зерттеу барысында уран концентрациясы ICP-MS әдісімен анықталған. Ақмола облысының тұрғындарында уран концентрациясы 0,10–0,60 мкг/л аралығында болған, ал жұмысшыларда 0,05-12,5 мкг/л аралығында өзгерген. Бұл нәтижелер несепті кәсіби және тұрмыстық уран экспозициясын бағалауда пайдаланудың мүмкіндігін көрсетеді. Қазақстандық басқа зерттеуде 2000-нан астам несеп үлгісінің нәтижелері талданып, уранның орташа концентрациясы 0,90 мкг/л, ең жоғары мәні 47,15 мкг/л болған.

Сербияның Niška Banja аймағында несептегі уранның орташа концентрациясы 123 нг/л құраған [16]. Швейцарияда 1393 адамның 24 сағаттық несеп үлгілерін зерттеу жүргізіліп, уран экскрециясына тұратын жердің әсері бар екені көрсетілген [17]. Финляндияда да ауыз судағы уран мөлшері мен несептегі уран концентрациясы арасындағы байланыс байқалған [18]. Несеп ағзаға уранның жақында түсуін сипаттағанымен, ұзақ мерзімді төмен дозалы әсерді толық бағалау үшін шаш пен тырнақ сияқты ұзақ мерзімді биомаркерлерді қатар қолдану қажет.

Шаш пен тырнақ кератиндік құрылымына байланысты микроэлементтер мен кейбір токсиканттардың ұзақ мерзімді жинақталуын бағалауда қолданылады. Сондықтан олар уранның созылмалы әсерін зерттеуде перспективалы биологиялық материалдар болып табылады [19].

Уран ағзаға түскеннен кейін қан айналымы арқылы әртүрлі тіндерге таралып, шаш пен тырнақтың кератиндік құрылымдарына түсуі мүмкін. Бұл биологиялық материалдардың негізгі артықшылықтары – үлгі алудың қарапайымдылығы, инвазивті араласудың болмауы және сақтау мен тасымалдаудың қолайлылығы. Алайда шаш пен тырнақ нәтижелері сыртқы ластануға, косметикалық құралдарға және жеке гигиена ерекшеліктеріне байланысты бұрмалануы мүмкін. Сондықтан үлгілерді зертханалық талдауға дейін тиісті тазарту және дайындау қажет.

Халықаралық зерттеулер шаш пен тырнақтағы уран мөлшерінің қоршаған ортадағы экспозициямен байланысты болуы мүмкін екенін көрсетеді. Сербияда тұрғындардың шашы мен тырнағындағы уран деңгейі зерттеліп, шаштағы орташа концентрация 17 нг/г, ал тырнақтағы 8 нг/г болған. Иракта шаштағы уран концентрациясы 20-680 нг/г, ал тырнақта 1-

55 нг/г аралығында болған; шаштағы көрсеткіштер тырнаққа қарағанда жоғары болған.

Оңтүстік Африкадағы зерттеуде қалдық сақтау қоймаларына жақын тұратын балалардың шашындағы уранның медианалық мөлшері 17,07 мкг/кг, ал бақылау тобында 8,12 мкг/кг болған ($p<0,001$) [20]. Басқа зерттеуде балалар мен ересектердің шашындағы уран концентрацияларының жоғары деңгейі анықталған. Бұл нәтижелер шаштың уранның ұзақ мерзімді әсерін бағалауда ақпараттық биомаркер екенін, ал тырнақтың қосымша биомаркер ретінде қолданылуы биомониторингтің кешенділігін арттыратынын көрсетеді.

Кесте 1 – Уран әсерін бағалауда қолданылатын биологиялық маркерлердің салыстырмалы сипаттамасы

Биологиялық материал	Әсерді сипаттайтын кезең	Артықшылықтары	Шектеулері
Несеп	Күндер – апталар	Уранның ағымдағы түсуі мен шығарылуын көрсетеді; ішкі сәулеленудің сезімтал индикаторы	Уранның ұзақ мерзімді жинақталуын сипаттамайды
Шаш	3-6 ай	Созылмалы әсерді көрсетеді; үлгі алу, сақтау және тасымалдау ыңғайлы	Косметикалық құралдармен және қоршаған орта факторларымен ластануы мүмкін
Тырнақ	6-12 ай	Уранның ұзақ мерзімді жинақталуын сипаттайды; қысқа мерзімді өзгерістерге төзімді	Өсу жылдамдығы баяу; сыртқы ластану әсер етуі мүмкін

Халықтың биомониторингі нәтижелерін қоршаған орта жағдайымен бірге бағалау қажет, өйткені адам ағзасындағы уран мөлшері су, тағам, топырақ және ауа арқылы түсетін экспозициямен байланысты. Уран объектілеріне жақын аумақтарда ауыз су уранның созылмалы түсуінің маңызды көздерінің бірі болып саналады. Сондықтан ауыз судың құрамындағы уранды тұрақты бақылау халықтың ықтимал экспозиция көздерін анықтауда маңызды.

Қоршаған орта мониторингі ықтимал әсер ету көздерін анықтауға мүмкіндік берсе, биомониторинг адамның ағзасына нақты түскен уранды бағалауға мүмкіндік береді. Сондықтан су, топырақ және ауа көрсеткіштерін несеп, шаш және тырнақтағы уран мөлшерімен бірге бағалау ішкі экспозицияны объективті сипаттауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Әдебиеттерді талдау уран өндіретін және консервацияланған уран объектілеріне жақын орналасқан халықтың экспозициясын бағалауда экологиялық мониторинг пен биомониторингті біріктірудің маңызын көрсетті.

Несеп уранның ағымдағы түсуі мен шығарылуын бағалауда ақпараттық биомаркер болып табылады, ал шаш пен тырнақ ұзақ мерзімді жинақталуды бағалауға мүмкіндік береді. Сербия, Ирак және Оңтүстік Африкадағы зерттеулер уран объектілеріне немесе қалдық сақтау орындарына жақын тұратын халықтың биологиялық үлгілерінде уран мөлшерінің жоғары болуы мүмкін екенін көрсетті.

Қазақстанда уран өндірісі аймақтарындағы экологиялық және биологиялық мониторинг бойынша зерттеулер жүргізілгенімен, консервацияланған уран объектілеріне жақын орналасқан елді мекен тұрғындарының несеп, шаш және тырнақ үлгілеріндегі уранды бір мезгілде бағалауға арналған зерттеулер шектеулі. Осыған байланысты биологиялық үлгілерді қоршаған орта мониторингімен біріктіріп зерттеу халықтың ішкі экспозициясын бағалаудың перспективалы бағыты болып табылады.

Әдебиеттер тізімі:

1. CDC, Uranium-235 (U-235) and Uranium-238 (U-238). Radiation Emergencies, 2024.

2. International Atomic Energy Agency, What is uranium? Nuclear Explained. IAEA, 2023.

3. Bakhtin, M., Kashkinbayev, Ye., Aumalikova, M., Ibrayeva, D., Tazhedinova, A., Altayeva, N., Zhaumitbay, S. Impact of Uranium Mining on Radiation Levels in Kazakhstan: A Case Study of Two Major Provinces. Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy Series. 2025. Vol. 151, No. 2. P. 45–59. DOI: 10.32523/2616-6836-2025-151-2-45-59.

4. Bizhanova, D.S., Bakhtin, M.M. Uran өndirisi maңynda tұratyn halyқtyң biologiyalyқ synamalaryndaғy urannyң mөlsherin baғalau. L.N. Gumilev atyndaғy EҰU Xabarshysy. Biologiyalyқ ғylymdar seriyasy. 2023. № 2(143). B. 27–38. DOI: 10.32523/2616-7034-2023-143-2-27-38.

5. World Health Organization, Uranium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva: WHO, 2012.

6. International Atomic Energy Agency, Occupational Radiation Protection in the Uranium Mining and Processing Industry. Safety Reports Series No. 100. Vienna: IAEA, 2020.

7. International Atomic Energy Agency, Environmental Monitoring and Surveillance Around Uranium Production Sites. Vienna: IAEA, 2023.

8. Faqir, Y., Li, Z., Gul, T., Zahoor, Jiang Z., Yu, L., Tan, C., Chen, X., Ma, J., Feng, J. Uranium's hazardous effects on humans and recent developments in treatment. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2025. Vol. 293. 118043. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2025.118043.

9. Horvit, A.M., Molony, D.A. A systematic review and meta-analysis of mortality and kidney function in uranium-exposed individuals. Environmental Research. 2024. Vol. 248. 118224. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118224.

10. 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 Physics. 2005. Vol. 88, No. 3. P. 229–242. DOI: 10.1097/01.hp.0000149883.69107.ab.

11. National Research Council. Uranium Mining in Virginia: Scientific, Technical, Environmental, Human Health and Safety, and Regulatory Aspects of Uranium Mining and Processing in Virginia. Washington, DC: National Academies Press, 2012. DOI: 10.17226/13266.

12. Kazymbet, P., Saifulina, E., Bakhtin, M., Aumalikova, M., Ilbekova, K., Yelshenbek, M., Bizhanova, D., Lesbek, A., Ibrayeva, D., Kashkinbayev, Y., Hoshi, M. Uranium in urine as a bioindicator for detecting uranium accumulation in the human body. Astana Medical Journal. 2025. Vol. 125, No. 5. amj002. DOI: 10.54500/2790-1203-2025-5-125-amj002.

13. Aumalikova, M.N., Ibrayeva, D.S., Zhumadilov, K.Sh., Bakhtin, M.M. Measurements of uranium in urine samples of uranium workers and inhabitants of nearby settlements in Akmola Region, Kazakhstan. Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. 2022. Vol. 6, No. 2. P. 118–123. DOI: 10.32523/ejpfm.2022060203.

14. Zupunski, L., Street, R., Ostroumova, E., Winde, F., Sachs, S., Geipel, G., Nkosi, V., Bouaoun, L., Haman, T. Schüz, J., Mathee, A. Environmental exposure to uranium in a population living in close proximity to gold mine tailings in South Africa. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2023. Vol. 77. 127141. DOI: 10.1016/j.jtemb.2023.127141.

15. Shezi, B., Street, R., Nkosi, V., Winde, F., Nuernberger, H., Schüz, J., Sachs, S., Zupunski, L., Ostroumova, E., Seibt, J., Bertheau, R., Husar, R., Czeslik, U., Mathee, A. Uranium concentration in children's hair samples and residential soil samples near mine tailings facilities, in Johannesburg, South Africa. Environmental Geochemistry and Health. 2025. Vol. 47. Article 562. DOI: 10.1007/s10653-025-02874-2.

16. Žunić, Z.S., Benedik, L., Kritsananuwat, R., Veselinovic, N., Tokonami, S., Arae, H., Stojanovska, Z., Sahoo, S.K. Measurement of uranium in urine, hair and nails in subjects of Niška Banja town, a high natural background radiation area of Serbia. Radiation Protection Dosimetry. 2019. Vol. 184, No. 3–4. P. 319–323. DOI: 10.1093/rpd/ncz120.

17. Jenny-Burri, J., Blanc, A., Aubert, R., Haldimann, M., Zürcher, U., Burnier, M., Paccaud, F., Bochud, M., Dudler, V. Uranium exposure of the Swiss population based on 24-hour urinary excretion. Swiss Medical Weekly. 2020. Vol. 150. w20207. DOI: 10.4414/smw.2020.20207.

18. Muikku, M., Puhakainen, M., Heikkinen, T., Ilus, T. The mean concentration of uranium in drinking water, urine, and hair of the occupationally unexposed Finnish working population. Health Physics. 2009. Vol. 96, No. 6. P. 646–654. DOI: 10.1097/01.HP.0000345026.98668.c4.

19. Raheem, Z.J. Determination of uranium concentration levels in human hair and nails. Samarra Journal of Pure and Applied Science. 2023. Vol. 5, No. 2. P. 130–140. DOI: 10.54153/sjpas.2023.v5i2.470.

20. Bansal, O.P. The concentration of the potentially toxic metals in human hair, nails, urine, blood, and air, and their impact on human health: a review. European Journal of Theoretical and Applied Sciences.

2023. Vol. 1, No. 2. P. 185–216. DOI: 10.59324/ejtas.2023.1(2).18.

© Central Asian Scientific Journal, 2026