

# РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СУ КӨЗДЕРІНЕ ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІ

Гаухар УМИРАЛИЕВНА\*  
Бауыржан АЯУЛЫМ\*\*\*

**Түйіндеме:** Бұл мақалада радиоактивті элементтердің су көздеріне тигізетін әсері қарастырылады. Радиоактивті қалдықтардың су экожүйелеріне түсу жолдары, олардың таралу механизмдері мен негізгі ластану көздері талданады. Сондай-ақ, радиоактивті элементтердің тірі организмдерге, су ресурстарының сапасына және адам денсаулығына ықпалы жан-жақты зерттеледі. Су көздерін радиациялық ластанудан қорғау әдістері, оның ішінде физикалық, химиялық және биологиялық тазарту технологиялары қарастырылады. Мақала радиоактивті ластанудың алдын алу шараларын ұсыну арқылы экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жолдарын қарастырады.

**Кілт сөздер:** радиоактивті қалдықтар, ластанушы көздер, су экожүйелері

## Radioactive Waste and Their Effects on Water Sources

**Abstract:** This article examines the effect of radioactive elements on water sources. The ways in which radioactive waste enters aquatic ecosystems, the mechanisms of its distribution, and the main sources of pollution are analyzed. The impact of radioactive elements on living organisms, the quality of water resources and human health will also be comprehensively studied. Methods of protection of water sources from radiation pollution, including technologies of physical, chemical and biological purification, are considered. The article discusses ways to ensure environmental safety by providing measures to prevent radioactive contamination.

**Key Words:** radioactive waste, polluting sources, aquatic ecosystems

### Кіріспе

Радиоактивті қалдықтар (РАҚ) – ядролық энергетика, медициналық және ғылыми зерттеулер, әскери өндіріс салаларында пайда болатын жоғары қауіпті материалдар. Бұл қалдықтардың дұрыс сақталмауы немесе залалсыздандырылмауы қоршаған ортаға, соның ішінде су ресурстарына айтарлықтай зиян келтіруі мүмкін. Радиоактивті заттардың су экожүйелеріне түсуі адамдардың денсаулығына, өсімдіктер мен жануарларға теріс әсер етеді.

Радиоактивті қалдықтардың қоршаған ортаға, әсіресе су экожүйелеріне түсуі жаһандық экологиялық қауіптердің бірі болып табылады. Ядролық энергетика, әскери өндіріс, медицина және ғылыми зерттеулер нәтижесінде түзілетін радиоактивті қалдықтар дұрыс сақталмаған жағдайда жер үсті және жер асты суларын ластауы мүмкін. Радиоактивті изотоптардың су ортасына енуі су экожүйелеріндегі биологиялық тепе-теңдікті бұзып, тірі ағзалардың денсаулығына қауіп төндіреді. Су экожүйелеріне радионуклидтердің таралу жолдарын түсіну – олардың әсерін азайту және алдын алу шараларын жасау үшін маңызды. Радиоактивті заттардың таралуы негізінен төрт негізгі механизм арқылы жүзеге асады: өнеркәсіптік және әскери қалдықтардың суға түсуі, ядролық апаттар, радиоактивті заттардың жер асты суларына сіңуі және атмосфералық тұнбалар арқылы ластану.

Су ресурстарына радиоактивті қалдықтардың әсер етуінің бірнеше негізгі жолдары бар. Біріншіден, ядролық өндіріс орындары мен атом электр станцияларындағы апаттар нәтижесінде радиоизотоптар өзендер мен теңіздерге түсуі мүмкін. Мысалы, 1986 жылы Чернобыль апаты кезінде радиоактивті заттар Днепр өзеніне тарап, оның бойындағы экожүйені ластаған. Екіншіден, ядролық қалдықтарды дұрыс сақтамау немесе заңсыз көму нәтижесінде радиоактивті элементтер топырақ арқылы жер асты суларына сіңіп, ауыз су көздерін ластауы ықтимал. Радиоактивті заттардың суда таралуы ауыр салдарға әкеледі. Мысалы, стронций-90 және цезий-137 сияқты изотоптар ұзақ уақыт бойы ыдырамай, тірі ағзаларға жинақталады. Бұл адам

---

\* а/ш.ғ.к., доцент, Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Жаратылыстану институты, Алматы, Қазақстан

\*\*\*\* Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Жаратылыстану институты, Алматы, Қазақстан

ағзасына түскенде қатерлі ісік, иммундық жүйенің әлсіреуі, генетикалық мутациялар тудыруы мүмкін. Сонымен қатар, радионуклидтердің балықтар мен басқа да су жануарларына жиналуы экожүйедегі тепе-теңдікті бұзады. Су ресурстарын радиоактивті ластанудан қорғау – маңызды экологиялық және стратегиялық міндет. Бұл мәселені шешу үшін радиоактивті қалдықтарды қауіпсіз сақтау, заманауи залалсыздандыру технологияларын қолдану және халықаралық бақылауды күшейту қажет.

Заттардың 400-ден астам түрі судың ластануына әкелуі мүмкін екендігі анықталды. Зияндылықтың үш көрсеткішінің кем дегенде біреуі бойынша рұқсат етілген нормадан асқан жағдайда: санитариялық – уыттылық, жалпы санитариялық немесе органолептикалық-су ластанған болып есептеледі. Келесі негізгі ластаушы заттар бар: химиялық (мұнай және мұнай өнімдері, синтетикалық беттік белсенді заттар, пестицидтер, минералды тыңайтқыштар, ауыр металдар, диоксиндер және т.б.), бактериялық (вирустар мен қоздырғыштар) және физикалық (радиоактивті заттар, жылу және т. б.).

Химиялық ластану – ең көп таралған, тұрақты және кең таралған. Ол органикалық (фенолдар, нафтен қышқылдары, пестицидтер және т.б.) және бейорганикалық (тұздар, қышқылдар, сілтілер), улы (мышьяк, сынап, қорғасын, кадмий және т. б. қосылыстары) және улы емес болуы мүмкін. Су қоймаларының түбіне шөгу кезінде немесе қабатта сүзу кезінде зиянды химиялық заттар тау жыныстарының бөлшектерімен сорылады, тотығады және тотықсызданады, тұнбаға түседі және т.б. алайда, әдетте, ластанған сулардың өзін-өзі толық тазартуы болмайды. Қатты өткізгіш топырақтардағы жер асты суларының химиялық ластану ошағы 10 км немесе одан да көп таралуы мүмкін.

Бактериялық ластану суда патогендік бактериялардың, вирустардың (700 түрге дейін), қарапайымдылардың, саңырауқұлақтардың және т.б. пайда болуымен көрінеді. Судың радиоактивті ластануы радиоактивті заттардың өте аз концентрациясында да өте қауіпті. Ең зиянды "ұзақ өмір сүретін" және суда қозғалатын радиоактивті элементтер (стронций-90, уран, радий-226, цезий және т.б.). Олар радиоактивті қалдықтарды төгу, оларды түбіне көму және т.б. кезінде жер үсті су қоймаларына, ал жер асты суларына – атмосфералық сулармен бірге жерге терең ену нәтижесінде немесе жер асты суларының радиоактивті тау жыныстарымен өзара әрекеттесуі нәтижесінде түседі.

Механикалық ластану суға әртүрлі механикалық қоспалардың (құм, шлам, лай және т.б.) түсуімен сипатталады. Механикалық қоспалар судың органолептикалық көрсеткіштерін айтарлықтай нашарлатуы мүмкін.

Радиоактивті қалдықтардың су экожүйелеріне түсу жолдары:

1. *Өнеркәсіптік және әскери радиоактивті қалдықтардың суға түсуі.* Кейбір өндірістік кәсіпорындар мен әскери нысандар радиоактивті қалдықтарды арнайы сақтау орындарына жіберу орнына тікелей су көздеріне төгу тәжірибесін қолданған. Бұған КСРО-дағы «Маяк» зауыты (Челябинск, Ресей) мысал бола алады, онда радиоактивті қалдықтар Теча өзеніне төгілді. Өндірістік қалдықтарға: уран өндіру және қайта өңдеу кәсіпорындары, атом электр станцияларынан шыққан радиоактивті сулар, ядролық отынды қайта өңдеу зауыттары, әскери қалдықтар, ядролық қару сынақтарының қалдықтары, радиоактивті оқ-дәрілерді суға көму, атомдық сүнгүйр қайықтардың қалдықтары.

Бұл қалдықтар суда ұзақ сақталып, түбіне шөгіп, судағы ағзаларға жиналып, одан әрі трофикалық тізбек арқылы адам ағзасына түсуі мүмкін.

2. *Ядролық апаттар нәтижесінде ластану.* Ядролық апаттар кезінде үлкен көлемде радиоактивті заттар қоршаған ортаға таралып, су экожүйелерін лақтауы мүмкін. Олардың бірі Чернобыль апаты (1986) кезінде Днепр өзені бассейніне

цезий-137 және стронций-90 сияқты радионуклидтер таралып, Украина, Беларусь және Ресейдің көптеген су көздерін ластады. Фукусима-1 АЭС апаты (2011) кезінде радиоактивті цезий, йод және стронций Тынық мұхитына таралып, теңіз экожүйелеріне кері әсер етті. Бұл апаттардан кейін радионуклидтер су ағзаларына жиналып, балықтар, шаянтәрізділер және балдырлар арқылы кеңінен таралды.

3. *Жерасты сулары арқылы таралу.* Радиоактивті қалдықтар арнайы полигондарда сақталса да, дұрыс оқшауланбаған жағдайда олардың бөлшектері топырақ арқылы жер асты суларына сіңуі мүмкін.

Радиоактивті изотоптардың миграциясы: стронций-90 жер асты сулары арқылы жылжып, ауыз су көздеріне жетуі мүмкін. Тритий (H-3) суда ерігіш болғандықтан, ластанған аймақтардан алыс жерлерге таралады. Қазақстанда мысалы: Семей ядролық полигонындағы сынақтардан кейінгі радиоактивті ластану Ертіс өзені мен жерасты суларына әсер ету қаупін тудырды.

4. *Атмосфералық тұнбалар арқылы ластану.* Атомдық жарылыстар немесе радиоактивті қалдықтардың булануы нәтижесінде радиоизотоптар атмосфераға көтеріліп, бұлттармен бірге жаңбыр немесе қар түрінде су көздеріне қайта оралады. Ядролық сынақтар: XX ғасырдағы АҚШ, КСРО және Франция жүргізген атмосфералық сынақтардан кейін радиоактивті жауындар көптеген аймақтарды ластаған. Қышқыл жаңбырлар: Радиоактивті изотоптар атмосферада химиялық реакцияларға түсіп, су ресурстарына түседі.

Тірі материяның бүкіл эволюциясы барысында ол жер қыртысында, суда және атмосферада шашыраңқы табиғи радионуклидтердің сәулеленуіне ұшырады. Организмдер табиғи және жасанды көздерден радиацияға азырақ ұшырайтын ортада жақсы өмір сүреді. Тұтастай алғанда, тұрақты уақыт кезеңінде сәулеленудің төмен дозаларының әсері өзгерістерді тудырады, бірақ өлімге әкелуі мүмкін жоғары дозалардан туындаған өзгерістер сияқты ауыр емес. Адамдардың биосфераға радиоактивті қалдықтарды шығаруы өлімге әкелетін радиацияның әсер ету қаупін арттырады. Табиғи ортадағы радиация әсерінен болатын барлық зиянды көрсетпесе де, өлім-жітім жедел уыттылықтың негізгі параметрі болып табылады. Нуклидтердің мұхитқа бөлінуі теңіз ағзаларының денсаулығына қауіп төндіреді. Әсер ету деңгейіне байланысты радиация қоректік тізбектердің негізгі арқауын құрайтын су экожүйелеріндегі зоопланктон, бентос және балықтар сияқты әртүрлі организмдердің өсуі мен көбеюіне зиянын тигізеді.

Тынық мұхитындағы теңіз өнімдеріндегі радиоактивтілік қоғамдық қауіпсіздікті алаңдататын мәселеге айналды. Балық шаруашылығы ресурстары дүние жүзіндегі адам популяциясы үшін азық-түліктің негізгі көзі және жоғары диеталық құндылығына байланысты өмір сүру құралы болып табылады. Су организмдерінің радионуклидтердің әсері олардың құрылымы мен қызметіне айтарлықтай әсер етеді. Ядролық қалдықтардың әсері тікелей генетикалық мутациялар мен қатерлі ісік ауруын тудырады. Сондықтан иондаушы сәулеленудің биотаға осындай биологиялық әсерін бағалау қоршаған ортаға болашақ радиоактивті шығарындылардың әсерін қорғау және азайтудың қажетті тәсілі болып табылады.

Көптеген ядролық реакторлар өзендерге немесе теңіз ортасына қосылғандықтан, су жүйелері ластаушы заттардың кең ауқымын, соның ішінде радиоактивтілікті, ядролық қалдықтардың мұхит жүйелеріне тасталуы құрлықтағыларға қарағанда екі есе дерлік болатын түпкілікті қызмет етеді.

Тіршілік су орталарында пайда болды деп есептелетіндіктен, судағы тіршіліктің жойылуы жердегі ағзаларға, соның ішінде адамдарға өте үлкен қауіп төндіреді. Бүгінгі күні радиацияның экожүйелердегі, негізінен су организмдеріне әсерін зерттеу ядролық полигондарда немесе ядролық қалдықтармен ластанған табиғи аумақтарда жүргізілді.

Бұл зерттеулер шатастыратын деректермен қарама-қайшы нәтижелер береді, өйткені экожүйелер күрделі және радиацияға әртүрлі сезімталдықты көрсететін көптеген компоненттерден тұрады.

Әртүрлі биологиялық әсерлер пайда болатын дозалар туралы ғылыми консенсустың болмауы және зертханалық әсер ету мен далалық зерттеулер арасындағы сәйкессіздік радиациялық әсер ету қаупін шынайы бағалауға кедергі келтіреді. Сондықтан радиоактивті изотоптардың әртүрлі дозаларының әсері, олардың деструктивті әсері, радиоактивті қалдықтардың шығарылуын бақылау және ғаламдық радиациялық ластану мониторингі туралы білім қажет. Сондай-ақ радиациялық қалдықтарды шығару ережелерін қатайту, ядролық қалдықтарды мұхитқа тастаудың прецеденттерін болдырмау қажет.

2023 жылдың жазында Жапония Фукусима атом электр станциясынан ластанған радиоактивті суды Тынық мұхитына ағызу ниетін жариялады. Мұның бәрі 2011 жылғы апаттан кейін 2021 жылға қарай ластанған суды ұстау үшін су қоймаларында орын тапшылығының туындауынан басталды, жағдай өзінің шарықтау шегіне жетті және шұғыл шешімдер қажет болды. Жапон билігі қалдықтарды мүмкіндігінше теңіз суымен сұйылтып, станциядан бір шақырым жердегі құбыр арқылы одан әрі мұхитқа жіберу арқылы құтылуды экономикалық және практикалық тұрғыдан ең ұтымды деп санады. Бұл жаңалық қоғамда қатты наразылық тудырды. Ғалымдар бұл тақырып бойынша толық келіспеді, сондықтан теңіз өмірінің, содан кейін адамдардың қауіпсіздігі туралы мәселе әлі де бар.

Радиоактивті қалдықтардан су экожүйелерін қорғау жолдары:

Радиоактивті қалдықтардың су ресурстарын ластау қаупін азайту үшін бірнеше негізгі әдістер қолданылады: қалдықтарды қауіпсіз сақтау, залалсыздандыру технологиялары, суды тазарту, мониторинг жүргізу және құқықтық реттеу.

*Радиоактивті қалдықтарды қауіпсіз сақтау.* РАҚ-ты дұрыс сақтау оларды су ресурстарына түсуінен қорғаудың басты шарасы болып табылады. Геологиялық қоймалар - радиоактивті қалдықтарды арнайы жасалған жер асты қоймаларында сақтау – ең сенімді әдістердің бірі. Мұндай қоймалар тұрақты геологиялық қабаттарда орналасып, радионуклидтердің сыртқы ортаға таралуын болдырмайды. Мысалы, Финляндиядағы «Онкало» жобасы – жоғары деңгейдегі РАҚ-ты сақтау үшін салынған қауіпсіз қойма.

Арнайы контейнерлер - радиоактивті қалдықтар болат, бетон және шыны-керамикалық контейнерлерде сақталады, бұл олардың сумен әрекеттесуін азайтады.

*Радиоактивті қалдықтарды залалсыздандыру технологиялары.* РАҚ-ты су экожүйелеріне таралмас бұрын қауіпсіз түрде өңдеу – маңызды міндет. Витрификация (шынылау технологиясы) -радиоактивті қалдықтарды жоғары температурада балқытып, шыны тәрізді қатты материалға айналдыру арқылы олардың сұйық ортада еру қаупін азайтуға болады. Бұл әдіс Франция, Жапония және АҚШ-та кеңінен қолданылады.

Плазмалық өңдеу - жоғары температуралы плазма технологиялары радиоактивті заттарды тұрақты және қауіпсіз химиялық қосылыстарға айналдырады.

Биотехнологиялық әдістер - кейбір бактериялар мен микробтар радиоактивті металдарды сіңіріп, олардың су экожүйесіне таралуын азайтуға көмектеседі.

*Су ресурстарын радиоактивті ластанудан тазарту.* Ластанған су көздерін қалпына келтіру және радионуклидтерден тазарту маңызды экологиялық шаралардың бірі.

Ион алмасу технологиясы - бұл әдіс суда еріген радиоактивті элементтерді арнайы сорбенттермен байланыстырып, оларды қауіпсіз түрде бөліп шығаруға мүмкіндік береді.

Мембраналық сүзгілеу - кері осмос және ультрафилтрация әдістері арқылы судағы радиоактивті изотоптарды тазартуға болады.

Су экожүйелерін қалпына келтіру - радиоактивті ластанған өзендер мен көлдерді балдырлар мен өсімдіктердің көмегімен тазарту тиімді әдістердің бірі.

*Радиоактивті ластануды мониторингтеу және бақылау.* РАҚ-тың су ресурстарына таралуын болдырмау үшін тұрақты мониторинг жүргізу қажет.

Автоматты радиациялық бақылау жүйелері - ядролық қалдықтарды сақтау орындары мен су көздерінің маңында радиациялық датчиктер орнатылып, радиоактивті ластану деңгейі үздіксіз бақыланады.

Жер асты суларының химиялық анализ - радиоизотоптардың жер асты суларына ену қаупін бағалау үшін су сынамалары тұрақты түрде тексеріледі.

Спутниктік бақылау - ядролық апаттардың ықтимал зардаптарын зерттеу үшін спутниктік радиациялық мониторинг жүйелері қолданылады.

*Құқықтық және халықаралық бақылау шаралары.* Ядролық қалдықтардың су ресурстарына түсуін болдырмау үшін халықаралық және ұлттық деңгейде қатаң заңнамалар мен бақылау жүйелері қажет. Әрбір ел радиоактивті қалдықтарды сақтау мен тасымалдау бойынша қатаң экологиялық стандарттарды енгізуі қажет. Ядролық қалдықтарды басқару жөніндегі халықаралық ынтымақтастық МАГАТЭ (IAEA), БҰҰ экологиялық бағдарламасы (UNEP) және басқа ұйымдар ядролық ластанумен күрес стратегияларын үйлестіреді.

Радиоактивті қалдықтардың су экожүйелеріне түсуі – экологиялық және денсаулыққа қауіп төндіретін күрделі мәселе. Бұл ластанудың алдын алу үшін қауіпсіз сақтау, залалсыздандыру технологияларын қолдану, суды тазарту, мониторинг жүргізу және құқықтық бақылауды күшейту қажет. Қазақстан үшін бұл мәселенің өзектілігі зор, себебі ел аумағында Семей ядролық полигонының радиоактивті қалдықтары мен уран өндіру саласының қалдықтары бар. Сондықтан су ресурстарын қорғау мақсатында заманауи технологияларды енгізу, ұлттық заңнаманы жетілдіру және халықаралық тәжірибені қолдану маңызды. Тиімді шешімдер қолданылған жағдайда, болашақта су ресурстарының қауіпсіздігі қамтамасыз етіліп, экожүйелердің тұрақтылығы сақталады.

### **Қорытынды**

Радиоактивті қалдықтар су экожүйелеріне әртүрлі жолдармен енуі мүмкін, соның ішінде тікелей төгінділер, жер асты сулары арқылы ағып кету, жауын-шашын және қоймалардың бұзылуы. Бұл процестердің әрқайсысы экология мен адам денсаулығына айтарлықтай қауіп төндіреді. Радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеуді бақылау және су ресурстарын қорғаудың тиімді әдістерін әзірлеу халықаралық қоғамдастық үшін басым міндеттер болып табылады.

### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР**

1. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020). Radioactive Waste Management and Environmental Protection. Vienna: IAEA Publications.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2017). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations.
3. Климов А. В. (2015). Радиоактивные отходы: проблемы захоронения и утилизации. Москва: Наука.
4. Николаев, А. В. Актуальные вопросы экологической безопасности и охраны окружающей среды / А. В. Николаев, Ю. Н. Жужома // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2013. – № 3. – С. 5. – EDN THROOX.
5. Казанцев В. В. (2018). Влияние радиационного загрязнения на водные ресурсы и экосистемы. Санкт-Петербург: Экологический центр.

6. Aarkrog, A. (2003). Radioecology of Aquatic Systems in the Context of Nuclear Waste Disposal. *Environmental International*, 29(2), 135-148.
7. Fesenko, S., & Howard, B. J. (2011). Remediation Strategies for Contaminated Water Bodies. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(7), 601-608.
8. Қазақстан Республикасы Экология, геология және табиғи ресурстар министрлігі. (2022). Радиоактивті қалдықтардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша ұлттық есеп. Астана.
10. Горский, В. В. Экологическая опасность просачивающихся вод из хранилищ твердых бытовых отходов (ТБО) / В. В. Горский // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 5(49). – С. 78-79. – EDN JUJMXB.