

С.К. Танирбергенова¹, З.А. Мансуров¹, З. Инсепов², Б.Т. Лесбаев¹, А.Ө. Әкімбек^{1*}

¹Жану проблемалары институты,

050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 172 үй.

²Nazarbayev University,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр д-лы, 53 үй.

*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

МОНАЦИТ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ТОРИЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ЭНЕРГЕТИКА САЛАСЫНДА ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа: Таза және тұрақты энергияға жаһандық сұраныстың өсуі жағдайында радиоактивті химиялық элемент торийді ядролық отын ретінде пайдалану ерекше назар аударады. Бұл зерттеу жұмысы торий энергетикасында қолдану мақсатында құрамында торий бар тау-кен өндіретін өнеркәсіптік қалдықтарды өңдеу мүмкіндіктерін кешенді талдауға бағытталған. Зерттеу жұмысында монацит минералы алтын өндіру және сирек жер өнеркәсібінің үйінділерінде түзілетін торийдің негізгі көзі ретінде қарастырылады. ANSYS және COMSOL Multiphysics бағдарламалық кешендерін пайдалана отырып, торий реакторының белсенді аймағының математикалық модельдерін әзірлеуге бағытталған теориялық зерттеулер жүргізілді. Модельдер нейтрондардың тасымалдану процестерін, жылу алмасуды, салқындатқыш ағындарын және механикалық кернеулерді ескереді. Экологиялық тәуекелдерді азайту мақсатында қалдықтардан торий алудың физика-химиялық әдістері де зерттелді. Мақалада Қазақстандағы, оның ішінде Маңғыстау облысы, Оңтүстік Қазақстан облысы және Солтүстік Қазақстан облысындағы перспективалық кен орындары анықталған торийдің геологиясы мен қоры туралы нақты геологиялық және минералогиялық деректер келтірілген. Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасында торий энергетикасын дамытудың жоғары технологиялық және экологиялық орындылығын атап көрсетеді және торий негізіндегі төртінші буындағы реакторларды енгізудің тұжырымдамалық және ғылыми негізін жасайды.

Түйін сөздер: торий, торий энергетикасы, монацит, алтын, қалдықтар, тау-кен өнеркәсібі, реакторлар, атом энергетикасы.

Кіріспе

Соңғы жылдары торий негізіндегі ядролық отынды қолданатын реакторларға қызығушылық айтарлықтай артып отыр. Торий энергетикасы дәстүрлі уран реакторларына қарағанда тұрақты әрі қауіпсіз балама ретінде перспективалы бағыт болып табылады. Торий көбінесе сирек кездесетін минералдар құрамында, жер қыртысына жақын орналасқан сазды минералдарда ион түрінде адсорбцияланған және өндірістік қалдықтарда жиі кездеседі. Кен өндіру саласында торий құрамын, соның ішінде қалдықтардағы мөлшерін анықтау бағытында зерттеулер жүргізілуде. Жер қыртысындағы торийдің орташа концентрациясы 8-13 г/т, ал теңіз суындағы концентрациясы шамамен 0,05 мкг/л деңгейінде. Дегенмен, торийдің негізгі кен көзі ретінде саналатын монацит минералы әлі күнге дейін негізінен өнеркәсіптік қалдық ретінде қарастырылып, оның стратегиялық ядролық ресурс ретіндегі маңызы жеткілікті бағаланбаған [1-5].

Өкінішке орай, қазіргі уақытта өңдеу зауыттарына қанша торий түскені және оның бастапқыда қайда сақталғаны туралы нақты сандық деректер жоқ. Дегенмен, жаһандық энергия тұтынудың үздіксіз өсуін ескере отырып, осы саладағы ағымдағы зерттеулер маңызды және уақтылы нәтижелер әкелуі мүмкін. Кейбір металдармен жүретін табиғи радиоактивтік процестер арқылы қосымша энергия алу мүмкіндігі пайдалы қазбаларды өндіру саласында ерекше қызығушылық тудырады. Осы тұрғыда монацит сияқты минералдарда, әсіресе алтын өндіретін кәсіпорындардың қалдықтарында кездесетін торийден энергия өндіру мүмкіндігін зерттеу маңызды болып отыр [1, 5-8].

Талқыланған мәселелер монацитті құнды ресурс ретінде пайдаланудың техникалық тұрғыдан мүмкін екенін, сонымен қатар бұл мәселенің экологиялық жағы туралы да ақпарат береді. Бұдан бөлек, торийдің ядролық отын ретінде тиімді қолданылуы өндірістік қалдықтарды қайта өңдеуді ынталандырып, қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтуға мүмкіндік

береді. Сонымен қатар, торий энергетикасының дамуы Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігін нығайтуға және сирек кездесетін элементтер базасын кеңейтуге ықпал етеді.

Мақсаты: Экологиялық таза, қауіпсіз және тұрақты торий негізіндегі ядролық реакторға қатысты шолу жасау және оның энергетикалық әлеуетін бағалау.

Міндеттері:

1. Торий негізіндегі ядролық реакторлардың энергетикалық әлеуеті мен технологиялық мүмкіндіктерін талдау;
2. Монацит және өндірістік қалдықтардағы торий қорларының табиғаты мен құрамын зерттеу;
3. Торийді өндіру мен қайта өңдеудегі экологиялық мәселелер мен қалдықтарды басқару тәсілдерін қарастыру;
4. Торийді және сирек жер элементтерін тиімді пайдалану арқылы ядролық отын өндірісінің тұрақтылығын бағалау.

1 Торий болашақ энергетика үшін ең тиімді табиғи ресурс ретінде

Әлемнің көптеген елдерінде қол жетімді, өте перспективалы ядролық отын-торий-232 ғалымдар арасында ерекше қызығушылық тудыруда, себебі ол қоғамның энергетикалық қажеттіліктерін қанағаттандыру мүмкіндігіне ие.

Табиғи торий – радиоактивті изотоптардың қоспасы, торий радиоактивті ыдырау қатарының бастамасы. Басқа изотоптар табиғатта уран мен актинийдің ыдырау қатарында кездеседі, ал торий барлық уран кендерінде болады. Синтетикалық изотоптары алынды: нептунияның синтетикалық актиноидтық элементінен шыққан ыдырау тізбегінде пайда болған торий-229 (жартылай шығарылу кезеңі 7880 жыл) кәдімгі торийдің (торий-232) [9] трассері ретінде қолданылады (1-сурет).



Сурет 1 – Торий элементінің химиялық сипаттамасы [7]

Таза күйіндегі торий – күмістей ақ түсті металл, ауада тұрақты болып, өзінің жылтырлығын бірнеше ай бойы сақтай алады. Егер ол торий оксидімен ластанса, ауада біртіндеп күңгірттеніп, сұр түске, кейін қара түске айналады. Торийдің физикалық қасиеттері көбіне оның оксидпен немесе көміртек сияқты басқа қоспалармен ластану дәрежесіне байланысты. Ең таза үлгілердің өзінде бірнеше ондық пайыз оксид болады. Дегенмен, өте жоғары тазалықтағы торий де алынған. Таза торий жұмсақ, өте иілгіш және суықтай илеуге және созуға оңай көнеді. Алайда, созылу беріктігі төмен болғандықтан, созу процесі қиындық туғызады. Торий диморфты металл, 1400 °C температурада оның құрылымы кубтықтан көлемдік-центрленген кубтыққа өзгереді. Торий оксидінің балқу температурасы 3300 °C-қа тең, бұл барлық оксидтердің ішіндегі ең жоғарысы. Тек вольфрам сияқты бірнеше элемент пен тантал карбиді сияқты бірнеше қосылыстар ғана бұдан жоғары балқу температурасына ие [10].

Торий сумен баяу әрекеттеседі, бірақ тұз қышқылынан басқа қарапайым қышқылдардың көпшілігінде еруі қиын. Ұнтақты металл торий көбінесе пирофорлы болып табылады және оны мұқият өңдеу керек. Ауада қыздырғанда торий жоңқалары тұтанып, ақ жарықпен жарық шашып жанады. Торий магний мен магний қорытпаларына олардың жоғары температуралық беріктігін арттыру үшін қосылады. Ол коммерциялық фотоэлементтерде толқын ұзындығы 2000-нан 3750 ангстремға дейінгі ультракүлгін сәулеліні өлшеу үшін қолданылады. Торий шыныға қосылғанда, ол жоғары сыну көрсеткіші бар шыны алуға мүмкіндік береді, бұл арнайы оптикалық қолданбалар үшін пайдалы. Бұрын торий газды және керосинді шамдарға арналған торлар құрамында кеңінен қолданылған, сондай-ақ шамдарға арналған вольфрам жіптерін және вакуумдық түтіктерді өндіруде пайдаланылған. Торий өзінің барлық дерлік қосылыстарында +4 тотығу дәрежесін көрсетеді. Th⁴⁺ ионы көптеген күрделі

иондар түзеді. Торий оксиді (ThO_2), отқа төзімді зат, көптеген өнеркәсіптік қосымшаларға ие; торий нитраты ($\text{Th}(\text{NO}_3)_4$) коммерциялық тұз түрінде қол жетімді [11].

Жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі торийдің орташа мөлшері 6-10 г/т құрайды, бұл уранға қарағанда шамамен 3-4 есе көп. Торий кең таралған, бірақ таза металл түрінде емес, минералдық формада – оксидтер, силикаттар, фосфаттар және басқа да минералдар түрінде кездеседі. Торий ресурстары туралы деректердің көбі болжамды сипатта болғанымен, соңғы бағалаулар бойынша әлемде 6,2 миллион тоннадан астам торий бар. [12]. Халықаралық Атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) ақпараты бойынша торий кен орындары жалпы төрт негізгі түрге бөлінеді [13] (1-кесте):

1 кесте – Торий кен орындарының негізгі түрлерінің ресурстары

Кен орындарының түрі	Торий қоры (1000 тонн)	Торийдің әлемдік қоры (% жуықталған)
Шөгінді түрінде	2182	35
Карбонатит	1783	29
Жила түрінде	1528	25
Сілтілік жыныстар	584	9
Басқа/белгісіз	135	2
Барлығы	6212	100

Шөгінді кен орындары тау жыныстарының, ауа-райының бұзылуы, толқындардың немесе ағындардың тасымалдануы және әсер етуі нәтижесінде пайда болады. Мұндай кен орындары көбіне қара құмдар немесе ауыр минералды құмдар деп аталады. Торийдің негізгі минералы – сирек жер элементтерінің фосфаты монацит, ол әдетте 10 %-дан аз Th (торий) құрамына ие. Басқа да маңызды, коммерциялық минералдарына, мысалы, ильменит, рутил, магнетит және басқалар жатады. Монацитті бөліп алуға болады, ал егер торий қажет болса, оны қосалқы өнім ретінде өндіруге болады. Шөгінді кен орындары архей дәуірінен бастап үшіншілік кезеңге дейінгі және одан кейінгі шөгінді түзілімдерге дейінгі аралықта пайда болған.

Карбонатитті жыныстар магмалық тектес болып келеді және құрамының 50%-дан астамы карбонатты минералдардан (кальцит, доломит, анкерит) тұрады. Олар көбіне магнетитпен, апатитпен, флюоритпен және құрамында торий болатын Nb-Ta (ниобий-таантал) қосалқы минералдарымен байытылған. Сонымен қатар басқа да минералдар болуы мүмкін. Карбонатит кен орындары әлемнің түкпір-түкпірінде кездеседі. Қазіргі уақытта бұл кен орындары негізінен ниобий мен тантал алу үшін коммерциялық тұрғыда қызығушылық тудырады, ал торий қажет болған жағдайда қосалқы өнім ретінде өндіріліп алынуы мүмкін.

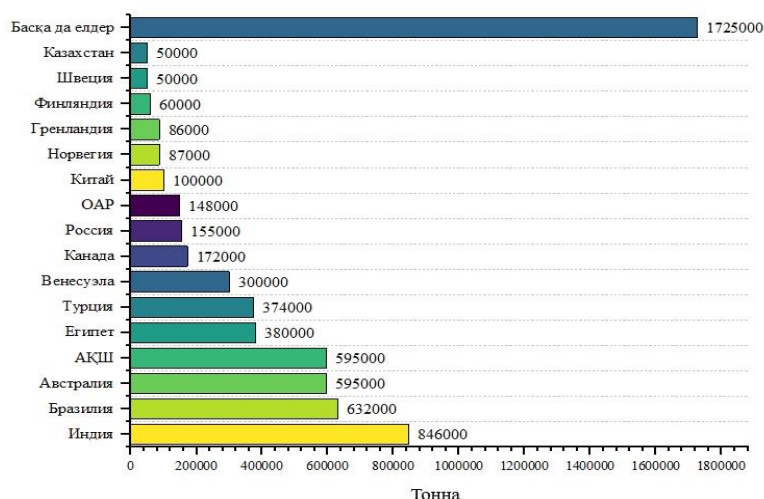
Жила типтегі кен орындары да кең таралған және негізінен гидротермалдық текті болып келеді. Олар интрузивті немесе эффузивті магмалық жыныстармен кеңістікте байланыста орналасады және көбінесе карбонатит интрузияларымен байланысты болады. Бұл кен орындары әдетте созылыңқы, жыла тәрізді немесе линза тәрізді пішінде болып келеді не жыныс қабаттарының жіктері мен жарықтарын толтыратын табақша тәрізді болады. Торийге тән кең таралған минералдар – торий оксиді мен торий силикаты. Мұндай жилалар жиі полиметалдық құрамда болады. Қажет болған жағдайда торийді қосалқы өнім ретінде өндіруге болады.

Сілтілі жыныстар магмалық тектес болып келеді және құрамында сілтілі дала шпаттарының (сілтілі гранит, сиенит) мөлшері жоғары болады. Бұл жыныстар көбінесе карбонатит интрузияларымен кеңістікте байланысты болып келеді. Минералдық құрамы әртүрлі және күрделі. Басқа кен орындары сияқты, мұндай жыныстарда да торий қажет болған жағдайда қосалқы өнім ретінде алынуы мүмкін.

Торий көптеген елдерде, соның ішінде АҚШ, Қытай, Үндістан және т.б. таралған. 2-суретте әртүрлі елдердің аумағында торий қорларын бөлу туралы мәліметтер келтірілген.

2 Торий: сирек кездесетін жер элементтерін өндірудің жанама өнімі ретінде және оны қолдану перспективалары

Қазіргі таңда торий – радиоактивті элемент, көбінесе сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) алу мақсатында өндірілетін монацит минералынан жанама өнім ретінде алынады. Сондай-ақ, СЖЭ-ге бай карбонатит сияқты минералдар да торийдің жоғары мөлшерін қамтуы мүмкін. Торий барлық кен орындарында бола бермесе де, көпшілігінде кездеседі.



Сурет 2 – Торийдің әлемдік қоры [14]

Бүгінде СЖЭ-нің 90-98 %-ы, негізінен Қытайда (78 %), сондай-ақ басқа елдерде өндіріледі. Минералды құм өндірісінің өсуі СЖЭ-мен қатар торий, уран және радий сияқты радионуклидтердің өндірісін де арттыруы мүмкін. Монацитке бай кен орындары көбіне торийді де қамтиды. Уранды сату оңай болса, торий нарығы шектеулі. Артық торийді тиімді пайдаланудың ұзақмерзімді шешімі – оны энергия көзі ретінде қолдану. Қытай бастаған Азия елдерінде торийлі ядролық реакторларды зерттеу жұмыстары жалғасуда, себебі олар CO_2 шығарындыларын азайтып, радиотоксикалықты төмендетуге мүмкіндік береді [15, 16].

Торий – ядролық реакторда қолдануға жарамды, уранға балама отын көзі. Қытай, Үндістан және Канада торий реакторларын пайдалану арқылы өздерін 1000 жыл энергиямен қамтамасыз ете алады. Қазір әлемде 439 уран реакторы жұмыс істеп тұр, тағы 108-і салынып жатыр. Олардың арасында торийлік реакторлар да бар. 2021 жылы Қытай алғашқы торий реакторын сынаққа дайындағанын хабарлады. Егер жоба сәтті болса, Қытай энергия өндіруде көшбасшы елдердің біріне айналуы мүмкін. Торий қоры бойынша Үндістан алда, сондықтан ол толығымен торийге көшуді көздеп отыр. Сондай-ақ Ресей, Жапония, АҚШ, Канада және Қазақстан да торийге бай елдерге жатады. Торийге деген қызығушылықтың артуына байланысты кейбір тау-кен кәсіпорындары бұл элементті зерттеуді бастап кетті, әсіресе оны алтын өндіретін кәсіпорындардың өндірістік қалдықтарында іздестіруде. Бұл кәсіпорындар бұрын осы элементті пайдаланып энергия өндірген. Өкінішке қарай, торийдің нақты қанша мөлшерде қайта өңдеу зауыттарына жеткізілгені және бастапқыда қайда сақталғаны туралы нақты деректер әзірге жоқ. Дегенмен, жаһандық энергияға деген сұраныс өскен сайын, қазіргі зерттеулер дер кезінде нәтиже беруі мүмкін. Бар мәліметтерге сүйенсек, тау-кен өндірісінен алынған торийді жағу арқылы өндірілетін энергия торийлі қалдықтардың төрт есе көп тұтынылуына әкеледі. Қазір жұмыс істеп тұрған және жаңадан ашылып жатқан алтын өндіруші кәсіпорындардың көбеюіне байланысты, қоршаған ортаға зиян келтірмей, осындай элементтерді тиімді алуға мүмкіндік беретін өндірістік процестерді әзірлеп, енгізу аса маңызды. Жалпы алғанда, кейбір металдардың табиғи радиоактивті түрленуі нәтижесінде энергияның қолжетімділігінің артуы тау-кен өнеркәсібіндегі маңызды жетістік болып саналады.

2.1 Сирек жер металдарын өндіру қалдықтарындағы монациттің таралуы

Алтын өндіру нәтижесінде түзілетін мол өндірістік қалдық монациттің техникалық тұрғыдан қолдану мүмкіндіктерін зерттеу, әсіресе құрамындағы сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) анықтау және оларды игеру жолдарын қарастыру маңызды қадам болып табылады. Монациттен алынатын торийді энергетикада пайдалану радиоактивті қалдықтарды азайтуға және қоршаған ортаға әсерді төмендетуге мүмкіндік береді. Бірақ бұл үдеріс кезінде түзілетін қалдықтар жоғары радиациялық белсенділікке ие, сондықтан I класқа жататын қауіпті қалдықтар ретінде қарастырылады. Осыған байланысты материалды қауіпсіз әрі тиімді пайдалану әдістерін әзірлеу өзекті болып табылады.

Монацит табиғатта магмалық және метаморфтық жыныстарда, сондай-ақ ежелгі және қазіргі аллювиалды құмдарда кездеседі. Ол ауыр минералдардан алынатын қосалқы өнім ретінде өндіріліп, өзен арналарынан және жағалау құмдарынан магниттік немесе гравитациялық әдістермен алынады. Сондай-ақ пегматиттер мен гидротермальды

түзілімдерде кварц және басқа СЖЭ минералдарымен бірге кездеседі. Химиялық құрамы күрделі монацит – (Ce, La, Pr, Nd, Y)PO₄ формулалы фосфат минералы, құрамында 5 %-ға дейін торий (Th) мен уран (U) болуы мүмкін. Ол ромбтық немесе призматикалық кристалл пішінінде, сондай-ақ оратылған бөлшектер түрінде кездеседі. Табиғи радиоактивтілігі жоғары бұл минерал ауыр актинидтерді (Th және U) алудың ең тиімді көзі болып табылады. Осы қасиеттеріне байланысты монацитті өңдеу – бір жағынан сирек кездесетін элементтер мен ядролық отын алу жолы, екінші жағынан радиациялық қауіпсіздік талаптарына сай келетін күрделі технологиялық әдіс [17-21].

Торий сирек кездесетін жер элементтері минералдарының құрамында жиі кездесетін элемент, оның негізгі көзі – монацит. Жер қыртысындағы орташа мөлшері 8-13 г/т, ал теңіз суында – 0,05 мкг/л. Қышқыл магмалық жыныстарда торийдің мөлшері жоғары (18 г/т), негізгі жыныстарда төмен (3 г/т). Ол көбінесе пегматиттік және постмагмалық процесстердің нәтижесінде, калийге бай жыныстарда жиналады. Торий жыныстарда уран-торий минералдарының құрамында немесе акцессорлық минералдарда қоспа түрінде кездеседі. Белгілі жағдайларда (галогендерге, сілтілерге және СО₂-ге бай ерітінділер болғанда) торий гидротермальды жолмен миграцияға ұшырап, уран-торий немесе гранат-диопсидті кен орындарында тұнбаға айналуы мүмкін. Негізгі минералдары: монацит құмы мен ферриторит. Торий грейзендік кен орындарында феррит құрамында немесе титан, уран сынды элементтері бар минералдарда да кездеседі. Ол сондай-ақ гранит түзуші слюдаларда (мысалы, флогопит, мусковит) қоспа ретінде болады. Торий 12-ге жуық минералда кездеседі, олардың негізгілеріне монацит, торианит, эвксенит, эхинит және викит жатады.

2.2 Алтын өндіру процесіндегі ілеспе монациттің рөлі

Жыл сайын әлемде орта есеппен 2800 тонна алтын өндіріледі. Бұл өндіріс көлемі әр тераграмм (тг) алтынға шамамен 2000 тонна «қалдық» руда мен 10,2 миллион тонна бос жыныстың түзілуіне әкеледі. Барланған алынатын алтын қоры шамамен 99 тг болса, оған қатысты 198 тг бос жыныс торийді өндіруге әлеуетті көз бола алады. Соңғы жылдары алтынның тек аз бөлігі өндірілгенімен, қорлардың негізгі бөлігі 1970-жылдардан бері жиналған «қалдық» көздерден тұрады. Алтын өндірудің орташа мерзімі 41 жыл деп есептегенде, қазіргі өндіріс қарқыны (2800 т/ж) «қалдық» алтын қорының 396 тг-ге жетуіне мүмкіндік береді. 2012 және 2016 жылдарға арналған бағалаулар сәйкесінше 300 тг және 220 тг көлеміндегі «қалдық» қорларды көрсетеді, бұл болжамның дәлдігін растайды.

Қазіргі таңда әлемде қайта өңдеуге жарамды 19 миллиард тонна көлеміндегі жеңіл қолжетімді қалдықтар жиналған. Бұған қоса, литийді коммерциялық мақсатта қолдануға дейін жиналған бірнеше гигатонна көлеміндегі термиялық белсенді қалдықтар да бар. Алтын өндірісінің «қалдық» ресурстарын тиімді пайдаланудың техникалық мүмкіндіктері бар және ол қатар жүргізілетін коммерциялық жобалармен біріктірілген жағдайда экономикалық тұрғыдан тиімді болуы мүмкін. Аталған процестер нәтижесінде алынатын радиоактивті материалдардың (мысалы, торийдің) қауіпсіз өңделуі мен утилизациясы үшін экологиялық, әлеуметтік және экономикалық аспектілер жеке-жеке қарастырылуы тиіс. Бұл тәсіл жобаларды тұрақты дамуға бағыттау және қалдықтарды тиімді кәдеге жарату үшін маңызды. [22-28].

Алтын өндіру процесі кезінде топырақтың үстіңгі қабаты алынып тасталады, оның көлемі алынатын металдың көлемінен шамамен 60 есе артық болуы мүмкін. Бұл үдеріс көбіне алтынға қол жеткізу үшін ірі жыныстарды ығыстыру немесе алтын құрамды материалдарды басқа заттармен араластыруды қамтиды. Мұндай аралық жыныстарды жою жер бедерін бұзуға және алтынды күкірт қышқылы арқылы алу технологиясы қолданылған жағдайда химиялық реагенттерге, соның ішінде оттекке деген сұраныстың артуына әкеледі. Қалдықтарды өңдеудің тәсілі олардың шығару құнымен және өңдеу кезіндегі экологиялық талаптармен, сондай-ақ аймақтық заңнамаға сәйкес анықталады. Алайда, алтын өндіруші кәсіпорындар қалдықтарды нарықтық құнын ескермей тұрып өңдеу құны тұрғысынан қарастыру мәселесін толық зерттемеген. Қалдықтардан сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) бөліп алып, оларды бастапқы алтын өндіру шығындарын өтеу үшін қолдану әлеуеті бар. Кейбір жағдайларда уран-торий негізіндегі отын көзін қалыптастыру арқылы ауыр металдармен жерасты суларының ұзақ мерзімді ластану қаупін азайтуға болады. Алтын өндірудің жанама өнімі ретінде алынатын торий бұл тұрғыда айтарлықтай қызығушылық

тудыруы мүмкін. Бұл аспектіні нақты сандық тұрғыда бағалау қиын болса да, ол тау-кен саласындағы мамандар үшін маңызды мәселе болып қала береді [29, 30, 31, 32, 33, 34].

Өнеркәсіптік алтын өндіру жаһандық деңгейде кең таралған, тауар нарығындағы маңызды сала. Геологиялық тұрғыдан алғанда, алтын кен орындары көбіне монацитпен тығыз байланысты, ол алтын өңдеу кезінде пайда болатын жанама өнім ретінде қарастырылады. Монациттің алтынмен байланысы аналитикалық зерттеулер нәтижесінде анықталып, күрделі кен орындарындағы алтын құрамын бағалауда маңызды рөл атқарады.

Монациттің кристалдық құрылымында радий сияқты изоморфты қосындылардың мөлшері аз. Құрамында негізінен церий фосфаты (шамамен 75 %), жеңіл сирек кездесетін элементтер: лантан (10 %), орташа сирек элементтер: празеодим (10-15 %) және ауыр сирек элемент: иттрий (5 %) кездеседі. Кейбір кристалдық ядроларда радиоактивті элементтер, әсіресе торий, мөлшері аспаптық анықтау шегінен жоғары болатын деңгейде анықталуы мүмкін. Монациттің сирек элементтермен және радиоактивті изотоптармен байланысы алтын өндіру кезінде минералдық шикізатты кешенді өңдеудің маңыздылығын көрсетеді. Дегенмен, мұндай жанама өнімдерді басқару, мысалы, монацит бар қалдықтарды экологиялық талаптарға сай жою қиындықтар туғызады. Алтын бар қалдықтардан монацитті қайта өңдеуді қолдайтын нақты ережелердің болмауы бұл процесстердің дамуын тежейді [35-39].

2.3 Қазақстан аумағындағы торий мен монациттің таралуы

Қазақстан аумағында сирек және сирек жер элементтерінің сегіз кен орны тіркелген. Маңғыстау облысында Меловое, Токмақ, Тайбұғар және Тасмұрын уран кен орындары орналасқан; Қостанай облысында Ақбұлақ және Құндыбай кен орындары; ал Түркістан (Оңтүстік Қазақстан) облысында Мойынқұм мен Ақдала кен орындары орналасқан. Бұған қоса, ел аумағында сирек және сирекжер металдарының 40-қа жуық түрін қамтитын Қарағайлыақтас, Жанет, Ахметкино және Ново-Ахмировское сияқты бірнеше кен орындары бар.

Қазақстанда торийдің жеткілікті қоры бар, ол көбіне монацит құрамынан алынады. Бұл процесте бірқатар сирек жер металдары да өндіріледі. Олар қосмос, ақпараттық технологиялар, автомобиль жасау және басқа да өндірістік салаларда кеңінен қолданылады. Торий өндірісі үшін арнайы құрылған Ульбин металлургия зауыты осы бағыттағы ірі кәсіпорындардың бірі. Қазіргі уақытта торийдің негізгі экспорттаушысы – Қытай. Алайда, Қытай кендерінің құрамында сирек металдардың үлесі небәрі 1% болса, қазақстандық кендердің құрамында бұл көрсеткіш мамандардың бағалауынша 44%-ға дейін жетеді. Торийді пайдалану кезінде радиациялық қалдықтардың қауіпсіздік деңгейі едәуір артады: уран отынының толық ыдырауына 10-15 мың жыл қажет болса, торийлі қалдықтардың ыдырау мерзімі небәрі 150-200 жылды құрайды [40].

Солтүстік Қазақстан облысының Тайыншы ауданындағы Обухов кен орны орташа қорға ие, құрамында ильменит ($82,09 \text{ кг/м}^3$), циркон ($80,41 \text{ кг/м}^3$), рутил, лейкоксен, монацит ($0,5\text{-}10 \text{ кг/м}^3$), дистен және андалузит бар.

2024 жылдың шілде айындағы мәліметтерге сәйкес, Түркістан облысында уранның ірі қорлары анықталған. Жалпақ кен орнының Шығыс учаскесінде жаңа ресурстар табылып, болашақта геологиялық барлау жұмыстары жоспарлануда. Торийдің уран кен орындарында бірге кездесетінін ескере отырып, бұл аймақ торий өндіру үшін де келешегі бар деп есептеледі. Қазақстан аумағында 30-дан астам кен орнының элементтік құрамы мен геохимиялық спектрі зерттелген. Нәтижесінде уран кен орындары сирек жер элементтерімен, сирек металдармен және алтынмен бай екені анықталды. Бұл кендерде негізінен жеңіл лантаноидтар: лантан мен церий жиналады, ал сирек металдар арасында гафний мен сүрме (Sb) басым.

Ауыр лантаноидтар иттербий мен лютэцийдің ең жоғары концентрациялары Көктеңгір рудалы торабындағы Заозерное және Тастыкол кен орындарында байқалды. Грачев тобының кейбір учаскелерінде самарий, лютэций, скандий, гафний, сүрме, цирконий, ниобий, иттрий және европий элементтері жоғары деңгейде кездеседі. Балқаш торабындағы кен орындарында тантал, гафний, сондай-ақ европий, иттербий және лютэций ішінара байқалады. Шоққарағай тобының рудалы көріністері сирек металдар мен сирекжер элементтерінің ерекше құрамымен ерекшеленеді. Донецк және Сырымбет кен орындарының қалайы кендері арасында лантан, церий, самарий, европий, иттербий, лютэций, скандий мен гафний, кей жағдайда алтын да анықталған. Лосев кен орнындағы колумбитте самарий, иттербий, скандий, гафний және уранның өнеркәсіптік деңгейдегі жоғары концентрациялары тіркелген. Геология институтының мәліметтеріне сәйкес, сирек жер элементтері Құндыбай, Жоғарғы Қайрақты,

Жанет, Оңтүстік Жаур, Көктеңкөл, Жоғарғы Эспе, Йосор, Қарасу және Қаратау фосфориттерінде де кездеседі.

Созак ауданындағы Ранг кен орнында сфен, торит, монацит, ильменит, циркон, рутил, галенит және пирит сияқты серіктес минералдар кездеседі. Алтынның концентрациясы 0,008-ден 0,3 г/м³ аралығында. Мыншункыр кен орны да осы өңірде орналасып, құрамында ильменит, циркон, анатаз, рутил, гематит, барит, пирит, сфен, торит, монацит және турмалин бар. Қарашұр кен орнында да ұқсас минералдар анықталған, оның ішінде вульфенит, малахит секілді қосымша минералдар кездеседі [41].

Жоғарғы Эспе учаскесі Шыңғыс-Тарбағатай мегаантиклиноры мен Жармин синклинорының шекарасында орналасқан. Мұнда кварц, альбит, рибекит, арфведсонит, рутил, циркон, торит, флуоцерит, монацит, ксенотим, бастнесит, пирит және басқалар бар. Минералдардың дәні 0,01-0,1 мм аралығында.

Құндыбай (Жоғарғы Иргиз) кен орнында да монацит қорлары бар [42]. Алтынды сульфидті рудалар гидротермалды пайда болған монацит пен ксенотим сияқты сирек жер минералдарына бай [43].

Қазақстанда қазіргі уақытта сирек жер элементтерін өндіру іс жүзінде жоқ, бірақ өндіріс базасы мен әлеуеті бар. Бұрынғы Иртыш химия-металлургиялық комбинаты екіге бөлініп, ТОО «Иртышская редкоземельная компания» (ИРЗК) және АО «ИХМЗ» ретінде жұмыс істейді. ИРЗК компаниясы толықтай жұмыс істемейді, себебі елде концентраттардың жеткілікті өндірісі жоқ. Қазіргі таңда рудалар мен техногендік шикізаттан сирек жер концентраттарын алу технологиялары дамуда. «Целинный Бредентон Кемикалз» (Степногорск) және минералдық тыңайтқыштар зауыты (Тараз) техногендік қалдықтардан сирек жер элементтерін өндіруді қолға алуда. Ал ИРЗК оларды өңдеп, соңғы өнім шығарумен айналысады. Қазақстанда сирек жер элементтерін өндірудің толық тізбегі қалыптасып келеді, бұл өндірістің даму деңгейін арттырады [44].

Торий реакторларын сынау тек Норвегия мен Үндістанда жүргізіледі, оған Билл Гейтс сияқты ірі инвесторлар қосылып отыр, бұл торийге деген қызығушылықты арттырады. Монацит кен орындары мен торий өндіруді зерттеу көрсеткендей, монациттер радиоактивті қалдық болып саналады және торийді тікелей тазалау іс жүзінде жүргізілмейді немесе бұл мәліметтер құпия. Осыған байланысты полиметалл, алтын және басқа кен орындарындағы қалдықтардың құрамын нақтылау маңызды. СЖЭ нарығы тез өсіп келе жатқан сектор. Олар электронды құрылғыларды ықшамдауға, гибриді көліктер мен жел турбиналарын өндіруге қажет. Мысалы, Toyota Prius аккумуляторында шамамен 10 кг лантан бар, ал жел турбиналарының магнитінде 260 кг-нан кем емес неодим қолданылады. Сондай-ақ СЖЭ түнгі көру құралдары, зымыран және басқа қару-жарақ өндірісінде, катализаторлар мен рентген пленкаларында кеңінен қолданылады. Бұл факторлар әлемдік СЖЭ өндірісінің өсімін қамтамасыз етеді және торийдің қосалқы өнім ретінде өсуіне әсер етеді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, торий энергетика саласы үшін өте тиімді сирек кездесетін элементтердің бірі. Оның кең таралуы, жоғары энергия сыйымдылығы және радиотоксикалылығы төмен қалдықтар қалдыруы оны болашақтың экологиялық таза ядролық отыны ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Әсіресе, алтын өндірісінің жанама өнімі ретінде алынатын монацит құрамындағы торийді тиімді игеру экономикалық жағынан тиімді әрі экологиялық тұрғыда ұтымды шешім болмақ. Қазақстан аумағындағы кен орындарының геохимиялық сипаттамалары мен торийдің таралуы еліміздің бұл салада бәсекеге қабілеттілігін арттыруға негіз бола алады. Торий мен сирек кездесетін элементтерді кешенді түрде өндіру – тау-кен өнеркәсібінің жаңа даму бағыты ретінде қарастырылып, энергетикалық қауіпсіздік пен тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізуге ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Manchanda V.K. Thorium as an abundant source of nuclear energy and challenges in separation science // *Radiochimica Acta*. – 2023. – Т. 111, № 4. – Р. 243-263.
2. Emblemsvag J. Safe, clean, proliferation resistant and cost-effective Thorium-based Molten Salt Reactors for sustainable development // *International Journal of Sustainable Energy*. – 2022. – Т. 41, № 6. – Р. 514-537.

3. Houghton J. Molten Salt Reactors: Overview and Comparison of Uranium and Thorium Fuel Cycles. – 2020.
4. Li D. TruUtilization and MA transmutation in thorium-based fluorinated molten salt fast reactor // Progress in Nuclear Energy. – 2024. – T. 168. – P. 105015.
5. Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review / K.S. Patel et al // Frontiers in environmental science. – 2023. – T. 10. – P. 1058053.
6. Aziman E.S. Investigation of thorium separation from rare-earth extraction residue via electrosorption with carbonbased electrode toward reducing waste volume // Nuclear Engineering and Technology. – 2021. – T. 53, № 9. – P. 2926-2936.
7. A safer and cleaner process for recovering thorium and rare earth elements from radioactive waste residue / J. Su et al // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – T. 406. – P. 124654.
8. Aziman E.S. Remediation of thorium (IV) from wastewater: Current status and way forward / E.S. Aziman, A.H.J. MohdSalehuddin, A.F. Ismail // Separation & Purification Reviews. – 2021. – T. 50, № 2. – P. 177-202.
9. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019. – 68 p.
10. Kelley D.D. The US Department of Energy (DOE) is considering a proposal to operate an integrated pit disassembly and conversion demonstration process at the Los Alamos National Laboratory (LANL) / D.D. Kelley // DOE has prepared an Environmental Assessment, Pit Disassembly and Conversion Demonstration (DOE/EA-1207).
11. The chemistry of the actinide and transactinide elements / M.S. Wickleder et al. – 2006. – P. 52-160.
12. Ligun A., Afroz N. Radioactive Waste. – 2023.
13. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019. – 68 p.
14. Международное агентство по атомной энергии (2023). Информационная система энергетических реакторов – в эксплуатации и приостановленная эксплуатация. Доступно онлайн: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx> (дата обращения: 05.01.2023).
15. Understanding rare earth elements as critical raw materials / W.L. Filho et al // Sustainability. – 2023. – T. 15, № 3. – P. 1919.
16. Thorium: geology, occurrence, deposits and resources / Barthel F.H. et al // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM 2014). – Vienna. Proceedings. – 2014.
17. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – T. 37. – P. 415-431.
18. Balaram V. Sources and applications of rare earth elements / V. Balaram // Environmental Technologies to Treat Rare Earth Elements Pollution: Principles and Engineering; IWA Publishing: London, UK. – 2022. – P. 75-113.
19. Quantification of thorium and rare earth elements in Perak's ex-mining monazite / C.R.C. Hak et al // JurnalSainsNuklear Malaysia. – 2020. – T. 32, № 1. – P. 10-19.
20. REE and Th potential from placer deposits: a reconnaissance study of monazite and xenotime from Jerai pluton, Kedah, Malaysia / F.A. Fauzi et al // Thai Geoscience Journal. – 2021. – T. 2, № 2. – P. 43-60.
21. Suwannapura V. The Influence of Rare Earth Elements on Thermal Infrared Spectra of Monazite: University of Twente, 2024.
22. Singer D.A. Long-Term Copper Production to 2100 / D.A. Singer // Mathematical Geosciences. – 2024. – T. 56, № 4. – P. 711-722.
23. Phillips N. Formation of gold deposits. – Singapore: Springer, 2022. – T. 10.
24. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining / O.M.S. Nico et al // World Development Perspectives. – 2024. – T. 33. – P. 100561.
25. Chitadze N. World Natural Resources and Their Impact on the Environmental Conditions of Our Planet / N. Chitadze // Perspectives on Ecological Degradation and Technological Progress. – IGI Global, 2023. – P. 42-78.
26. Meißner S. The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities-a GIS-based water impact assessment / S. Meißner // Resources. – 2021. – T. 10, № 12. – P. 120.

27. Global carbon dioxide removal potential of waste materials from metal and diamond mining / L.A. Bullock et al // *Frontiers in Climate*. – 2021. – Т. 3. – P. 694175.
28. Yildiz T.D. How can the state rights be calculated by considering a high share of state right in mining operating costs in Turkey? / T.D. Yildiz // *Resources Policy*. – 2022. – Т. 75. – P. 102509.
29. The implication of thorium fraction on neutronic parameters of pebble bed reactor / Z. Zuhair et al // *Kuwait Journal of Science*. – 2021. – Т. 48, № 3.
30. The absence of metamictisation in natural monazite / L. Nasdala et al // *Scientific reports*. – 2020. – Т. 10, № 1. – P. 14676.
32. Monazite-type SmPO₄ as potential nuclear waste form: insights into radiation effects from ion-beam irradiation and atomistic simulations / J.M. Leys et al // *Materials*. – 2022. – Т. 15, № 10. – P. 3434.
33. Review of rare-earth phosphate materials for nuclear waste sequestration applications / M.R. Rafiuddin et al // *ACS omega*. – 2022. – Т. 7, № 44. – P. 39482-39490.
34. Zglinicki K. Monazite-bearing post processing wastes and their potential economic significance / K. Zglinicki, K. Szamałek, G. Konopka // *gospodarkasurowcamiminerálnymi*. – 2020. – Т. 36.
35. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2020. – Т. 37. – P. 415-431.
36. Annan C.A. Mineralogical and geochemical characterisation of monazite placers in the neufchâteau syncline (Belgium). – 2021.
37. Echeverry-Vargas L. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination / L. Echeverry-Vargas, N.R. Rojas-Reyes, L.M. Ocampo-Carmona // *Hydrometallurgy*. – 2023. – Т. 216. – P. 106009.
38. Abaka-Wood G.B. The use of mining tailings as analog of rare earth elements resources: Part 1–characterization and preliminary separation / G.B. Abaka-Wood, J. Addai-Mensah, W. Skinner // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. – 2022. – Т. 43, № 6. – P. 701-715.
39. Prayogo D. Identification of Mineral Zircon (ZrSiO₄) Rare Earth Metal (REM) As Smart Material for Electric Tactical Motor Bike Battery / D. Prayogo, R. Murniati, C. Likitaporn // *International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense*. – 2024. – Т. 2, № 1. – P. 29-36.
40. Казахстан может стать основным поставщиком тория 28 мая 2014 [altaynews.kzhttps://www.atomic-energy.ru/news/2014/05/28/49202](https://www.atomic-energy.ru/news/2014/05/28/49202).
41. Россыпи золота Казахстана / Х.А. Беспяев и др. // *Справочник Алматы*, 1999, 228 с.
42. Ермұханбетов Е.Е. Вещественный состав вмещающих пород и коренных руд на месторождении Верхний Иргиз / Е.Е. Ермұханбетов, М.К. Кембаев // *труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2020» Алматы 2020*. С.27-30.
43. Еекрасоба Р.Л. Куларит – аутигенная разновидность монацита / Р.Л. Еекрасоба, Е.Е. Еекрасоб // *ДАН*. – 1983. – Т. 268. – С. 688-693.
44. О возможности создания редкоземельной отрасли в РК журнале «Промышленность Казахстана», №5, октябрь 2008 г.) МадалиНайманбаев<https://proza.ru/2009/02/05/425>.

References

1. Manchanda V.K. Thorium as an abundant source of nuclear energy and challenges in separation science // *Radiochimica Acta*. – 2023. – Т. 111, № 4. – R. 243-263. (In English).
2. Emblemsvag J. Safe, clean, proliferation resistant and cost-effective Thorium-based Molten Salt Reactors for sustainable development // *International Journal of Sustainable Energy*. – 2022. – Т. 41, № 6. – R. 514-537. (In English).
3. Houghton J. Molten Salt Reactors: Overview and Comparison of Uranium and Thorium Fuel Cycles. – 2020. (In English).
4. Li D. TruUtilization and MA transmutation in thorium-based fluorinated molten salt fast reactor / D. Li // *Progress in Nuclear Energy*. – 2024. – Т. 168. – R. 105015. (In English).
5. Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review / K.S. Patel et al // *Frontiers in environmental science*. – 2023. – Т. 10. – R. 1058053. (In English).
6. Aziman E.S. Investigation of thorium separation from rare-earth extraction residue via electrosorption with carbonbased electrode toward reducing waste volume / E.S. Aziman // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2021. – Т. 53, № 9. – R. 2926-2936. (In English).

7. A safer and cleaner process for recovering thorium and rare earth elements from radioactive waste residue / J. Su et al // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – T. 406. – R. 124654. (In English).
8. Aziman E.S. Remediation of thorium (IV) from wastewater: Current status and way forward / E.S. Aziman, A.H.J. MohdSalehuddin, A.F. Ismail // *Separation & Purification Reviews*. – 2021. – T. 50, № 2. – R. 177-202. (In English).
9. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019, 68 p. (In English).
10. Kelley D.D. The US Department of Energy (DOE) is considering a proposal to operate an integrated pit disassembly and conversion demonstration process at the Los Alamos National Laboratory (LANL) / D.D. Kelley // DOE has prepared an Environmental Assessment, Pit Disassembly and Conversion Demonstration (DOE/EA-1207). (In English).
11. The chemistry of the actinide and transactinide elements / M.S. Wickleder et al. – 2006. – R. 52-160. (In English).
12. Ligun A., Afroz N. Radioactive Waste. – 2023. (In English).
13. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. IAEA-Tecdoc-1892. – Vienna, 2019. – 68 p. (In English).
14. Mezhdunarodnoe agentstvo po atomnoi ehnergii (2023). Informatsionnaya sistema ehnergeticheskikh reaktorov – v ehkspluatatsii i priostanovlennaya ehkspluatatsiya. Dostupno onlain: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx> (data obrashcheniya: 05.01.2023). (In Russian).
15. Understanding rare earth elements as critical raw materials / W.L. Filho et al // *Sustainability*. – 2023. – T. 15, № 3. – R. 1919. (In English).
16. Thorium: geology, occurrence, deposits and resources / Barthel F.H. et al // *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM 2014)*. – Vienna. Proceedings. – 2014. (In English).
17. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2020. – T. 37. – R. 415-431. (In English).
18. Balaram V. Sources and applications of rare earth elements / V. Balaram // *Environmental Technologies to Treat Rare Earth Elements Pollution: Principles and Engineering*; IWA Publishing: London, UK. – 2022. – R. 75-113. (In English).
19. Quantification of thorium and rare earth elements in Perak's ex-mining monazite / C.R.C. Hak et al // *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*. – 2020. – T. 32, № 1. – R. 10-19. (In English).
20. REE and Th potential from placer deposits: a reconnaissance study of monazite and xenotime from Jerai pluton, Kedah, Malaysia / F.A. Fauzi et al // *Thai Geoscience Journal*. – 2021. – T. 2, № 2. – R. 43-60. (In English).
21. Suwannapura V. The Influence of Rare Earth Elements on Thermal Infrared Spectra of Monazite: University of Twente, 2024. (In English).
22. Singer D.A. Long-Term Copper Production to 2100 / D.A. Singer // *Mathematical Geosciences*. – 2024. – T. 56, № 4. – R. 711-722. (In English).
23. Phillips N. Formation of gold deposits. – Singapore: Springer, 2022. – T. 10. (In English).
24. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining / O.M.S. Nico et al // *World Development Perspectives*. – 2024. – T. 33. – R. 100561. (In English).
25. Chitadze N. World Natural Resources and Their Impact on the Environmental Conditions of Our Planet / N. Chitadze // *Perspectives on Ecological Degradation and Technological Progress*. – IGI Global, 2023. – R. 42-78. (In English).
26. Meißner S. The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities—a GIS-based water impact assessment / S. Meißner // *Resources*. – 2021. – T. 10, № 12. – R. 120. (In English).
27. Global carbon dioxide removal potential of waste materials from metal and diamond mining / L.A. Bullock et al // *Frontiers in Climate*. – 2021. – T. 3. – R. 694175. (In English).
28. Yıldız T.D. How can the state rights be calculated by considering a high share of state right in mining operating costs in Turkey? / T.D. Yıldız // *Resources Policy*. – 2022. – T. 75. – R. 102509. (In English).
29. The implication of thorium fraction on neutronic parameters of pebble bed reactor / Z. Zuhair et al // *Kuwait Journal of Science*. – 2021. – T. 48, № 3. (In English).

30. The absence of metamictisation in natural monazite / L. Nasdala et al // Scientific reports. – 2020. – Т. 10, № 1. – R. 14676. (In English).
32. Monazite-type SmPO₄ as potential nuclear waste form: insights into radiation effects from ion-beam irradiation and atomistic simulations / J.M. Leys et al // Materials. – 2022. – Т. 15, № 10. – R. 3434. (In English).
33. Review of rare-earth phosphate materials for nuclear waste sequestration applications / M.R. Rafiuddin et al // ACS omega. – 2022. – Т. 7, № 44. – R. 39482-39490. (In English).
34. Zglinicki K. Monazite-bearing post processing wastes and their potential economic significance / K. Zglinicki, K. Szamalek, G. Konopka // gospodarkasurowcamineralnymi. – 2020. – Т. 36. (In English).
35. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – Т. 37. – R. 415-431. (In English).
36. Annan C.A. Mineralogical and geochemical characterisation of monazite placers in the neufchâteau syncline (Belgium). – 2021. (In English).
37. Echeverry-Vargas L. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination / L. Echeverry-Vargas, N.R. Rojas-Reyes, L.M. Ocampo-Carmona // Hydrometallurgy. – 2023. – Т. 216. – R. 106009. (In English).
38. Abaka-Wood G.B. The use of mining tailings as analog of rare earth elements resources: Part 1–characterization and preliminary separation / G.B. Abaka-Wood, J. Addai-Mensah, W. Skinner // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2022. – Т. 43, № 6. – R. 701-715. (In English).
39. Prayogo D. Identification of Mineral Zircon (ZrSiO₄) Rare Earth Metal (REM) As Smart Material for Electric Tactical Motor Bike Battery / D. Prayogo, R. Murniati, C. Likitaporn // International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense. – 2024. – Т. 2, № 1. – R. 29-36. (In English).
40. Kazakhstan mozhet stat' osnovnym postavshchikom toriya 28 maya 2014 altaynews.kz <https://www.atomic-energy.ru/news/2014/05/28/49202>. (In Russian).
41. Rossypi zolota Kazakhstana / X.A. Bespaev i dr. // Spravochnik Almaty, 1999, 228 s. (In Russian).
42. Ermykhanbetov E.E. Veshchestvennyi sostav vmeshchayushchikh porod i korennykh rud na mestorozhdenii Verkhniy Irgiz / E.E. Ermykhanbetov, M.K. Kembraev // trudy Satpaevskikh chtenii «Satpaevskie chteniya – 2020» Almaty 2020. S.27-30. (In Russian).
43. Eekrasoba R.L. Kularit – autigennaya raznovidnost' monatsita / R.L. Eekrasoba, E.E. Eekrasob // DAN. – 1983. – Т. 268. – S. 688-693. (In Russian).
44. О возможности создания редкоземельной отрасли в РК журнале «Промышленность Казахстана», №5, октябрь 2008 г.) MadallNaimanbaev <https://proza.ru/2009/02/05/425>. (In Russian).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитетінің «ИРН BR24993225 «Қазақстан энергетикасы үшін жаңа үлгідегі модульдік атом реакторларының әлеуетті ядролық отыны ретінде кешенді зерттеу» ғылыми жоба шеңберінде қаржыландырды.

С.К. Танирбергенова¹, З.А. Мансуров¹, З. Инсепов², Б.Т. Лесбаев¹, А.Ө. Әкімбек^{1*}

¹Институт проблем горения,

050012, Республика Казахстан, г. Алматы, у. Бөгенбай батыра, 172.

²Nazarbayev University,

010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Кабанбай батыра, 53.

*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЕВЫХ ОТХОДОВ В СОСТАВЕ МОНАЦИТА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В условиях роста глобального спроса на экологически чистую и устойчивую энергию особое внимание привлекает использование тория в качестве ядерного топлива. Данная исследовательская работа направлена на комплексный анализ возможностей переработки

горнодобывающих промышленных отходов, содержащих торий, с целью их применения в ториевой энергетике. В работе рассматривается минерал монацит как ключевой источник тория, образующийся в отвалах золотодобывающей и редкоземельной промышленности. Проведены теоретические исследования, направленные на разработку математических моделей активной зоны ториевого реактора с использованием программных комплексов ANSYS и COMSOL Multiphysics. Модели учитывают процессы переноса нейтронов, теплообмена, течения теплоносителя и механических напряжений. Также исследованы физико-химические методы извлечения тория из отходов с целью минимизации экологических рисков.

Представлены данные по геологии и запасам тория в Казахстане, где определены перспективные месторождения, в том числе в Мангистауской области, Южно-Казахстанской области и Северо-Казахстанской области. Результаты исследования подчеркивают высокую технологическую и экологическую целесообразность развития ториевой энергетики в Республике Казахстан и создают научную основу для внедрения реакторов IV поколения на основе тория.

Ключевые слова: торий, ториевая энергетика, монацит, золото, отходы, горнодобывающая промышленность, реакторы, ядерная энергетика.

S.K. Tanirbergenova¹, Z.A. Mansurov¹, Z. Insepov², B.T. Lesbayev¹, A.O. Akimbek^{1*}

¹The Institute Of Combusting Problems,

050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, Bogenbai Batyr Street, 172.

²Nazarbayev University,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbai Batyr Avenue, 53.

*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

PROSPECTS FOR THE USE OF THORIUM WASTE AS PART OF MONAZITE IN THE ENERGY INDUSTRY

In the context of growing global demand for environmentally friendly and sustainable energy, the use of thorium as a nuclear fuel attracts special attention. This research work is aimed at a comprehensive analysis of the possibilities of processing mining industrial waste containing thorium, with a view to their use in thorium energy. The paper considers the mineral monazite as a key source of thorium formed in the dumps of the gold mining and rare earth industries. Theoretical studies have been conducted aimed at developing mathematical models of the thorium reactor core using the ANSYS and COMSOL Multiphysics software systems. The models take into account the processes of neutron transfer, heat transfer, coolant flow, and mechanical stresses. Physico-chemical methods of thorium extraction from waste have also been investigated in order to minimize environmental risks. Data on the geology and reserves of thorium in Kazakhstan are presented, where promising deposits have been identified, including in the Mangystau region, South Kazakhstan region and North Kazakhstan region. The results of the study emphasize the high technological and environmental feasibility of developing thorium energy in the Republic of Kazakhstan and create a scientific basis for the introduction of fourth-generation thorium-based reactors.

Key words: thorium, thorium energy, monazite, gold, waste, mining industry, reactors, nuclear energy.

Авторлар туралы мәліметтер

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» бас директордың ғылым жөніндегі орынбасары; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6377-0913>.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – химия ғылымдарының докторы, профессор, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» ғылыми жетекшісі; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>.

Зинетула Инсепов – техника ғылымдарының докторы, Nazarbayev University профессоры; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8079-6293>.

Бахытжан Тастанович Лесбаев – химия ғылымдарының кандидаты, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» бас ғылыми қызметкері; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0309-1935>.

Арайлым Өтегенқызы Әкімбек* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» ғылыми қызметкері; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8307-6059>.

Сведения об авторах

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, заместитель генерального директора по науке в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6377-0913>.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – доктор химических наук, профессор, научный руководитель в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>.

Зинетула Инсепов – доктор технических наук, профессор Nazarbayev University; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8079-6293>.

Бахытжан Тастанович Лесбаев – кандидат химических наук, главный научный сотрудник в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0309-1935>.

Арайлым Өтегенқызы Әкімбек* – магистр естественных наук, научный сотрудник в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8307-6059>.

Information about the authors

Sandugash Tanirbergenova – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Deputy Director General for Science at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6377-0913>.

Zulkhair Mansurov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Scientific Supervisor at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-216X>.

Zinetula Insepov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Nazarbayev University; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8079-6293>.

Bakhytzhan Lesbayev – Candidate of Chemical Sciences, Chief Researcher at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0309-1935>.

Arailym Akimbek* – Master of Natural Sciences, researcher at the at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8307-6059>.

Редакцияға енуі 07.08.2025

Өңдеуден кейін түсуі 29.09.2025

Жариялауға қабылданды 30.09.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3\(19\)-66](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-66)

МРНТИ 31.17.15; 31.15.17; 31.15.17; 31.15.25



Б.Қ. Қасенов^{1*}, Ш.Б. Қасенова¹, Ж.И. Сағынтаева¹, Е.Е. Қуанышбеков¹, М.А. Исабаева²

¹Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты,
100009, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ., Ермеков к-сі, 63

²Торайғыров университеті,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64

*e-mail: kasenov1946@mail.ru

LaLi₂CuVMnO_{7.5} КУПРАТ-ВАНАДАТ-МАНГАНИТИНІҢ СИНТЕЗІ, РЕНТГЕНОГРАФИЯСЫ ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ

Аңдатпа: Мақалада купрат-ванадат-манганит $\text{LaLi}_2\text{CuVMnO}_{7.5}$ қосылысының синтезі, рентгенографиялық және термодинамикалық зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған. Керамикалық технологияны қолдана отырып, жаңа $\text{LaLi}_2\text{CuVMnO}_{7.5}$ купрат-ванадат-манганиті синтезделді. Құрылымдық талдау рентгендік дифракция (РФА) әдісімен жүргізілді. Рентгенограммаларды индицирлеу аналитикалық әдіспен орындалды. Пикнометриялық тығыздықтар 1 (бір) мл көлемді шыны пикнометрлерде 3 (үш) рет анықталып, деректердің орташа мәндері есептелді. Нәтижелер $\text{LaLi}_2\text{CuVMnO}_{7.5}$ қосылысының тор параметрлері: $a=14,01 \pm 0,01 \text{ \AA}$; $Z=4$; $V^0=2747,18 \pm 0,03 \text{ \AA}^3$; $V^{\text{эл.ұш.}}=686,87 \pm 0,87 \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{рент.}}=4,27$ және $\rho_{\text{пикн.}}=4,26 \pm 0,005 \text{ г/см}^3$ кубтық сингонияда кристалданатынын көрсетеді. ИТ-С-400 сериялық калориметрінде 298.15–673 К аралығында $\text{LaLi}_2\text{CuVMnO}_{7.5}$ жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі зерттелді. Құралдың калибрлеуі жылуөткізгіштің жылу өткізгіштігін анықтау негізінде жүзеге асырылды. Осы мақсатта мыс үлгісімен және бос ампуламен эксперименттер жүргізілді. Өр температурада (25 К сайын) бес параллель тәжірибе орындалып, нәтижелері математикалық статистика әдістерімен орташа есептеліп өңделді. Құрылғы жұмысы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -тың жылу сыйымдылығын анықтау арқылы тексерілді.