

6D072000 - Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы ББ
бойынша философия докторы дәрежесін (PhD) алуға ұсынылған

Улбекова Мариям Мускановнаның

«Қазақстанның гидроминералды шикізаттарынан литий тұздарын алу
технологиясын әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысының
АНДАТПАСЫ

Зерттелетін мәселенің өзектілігі. Литий – бірқатар ерекше қасиеттерге ие ең жеңіл металл. Осыған байланысты литий және оның әртүрлі қосылыстары әлемнің жоғары дамыған елдерінде әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Литий өнімдерін пайдаланудың негізгі бағыттары-алюминий электролизі, аккумуляторлар, медициналық препараттар, аэроғарыш, шыны және керамика өндірісі және атом өнеркәсібі.

Литий шикізатының құрамында сподумен ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$), гекторит ($\text{Na}_0.3(\text{Mg, Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), петалит ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$) минералдары және құрамында K, Al және басқа да элементтердің қоспалары бар литийлі слюдалар кездеседі. Минералдық жыныстардан литийді бөліп алу қоспалық және ілеспе металдардың болуына, сондай-ақ минералдық желілерге қолжетімділіктің күрделілігіне байланысты қиын және едәуір экономикалық шығындарды талап етеді.

Көл тұзды ертінділеріндегі, шөлді бассейндердегі, тұзды көлдер, теңіздер және саларлардағы лайлы шөгінділеріндегі литий мөлшері 200–7000 мг/л Li^+ аралығында кең ауқымда өзгеріп отырады, бұл барлау мен ресурстарды бағалау жұмыстарын қымбаттатады. Дегенмен, табиғи тұзды ертінділерден литийді бөліп алу, қатты минералдық жыныстардан литийді өндіруге қарағанда шығынды төменірек қажет етеді. Тұзды ертінділерден литийді натрий карбонатын (Na_2CO_3) қосу арқылы, Li^+ иондарын Li_2CO_3 түрінде тұндыру жолымен бөледі. Гидроминералдық шикізаттан литий тұздарын алу үдерістерінде бұрын әртүрлі химиялық қосылыстар түріндегі адсорбенттер қолданылған. Литийді өндірудің заманауи әдістерін талдау, әртүрлі алюминаттық сорбенттерді пайдаланып, литий хлоридін селективті сорбциялық жолмен бөліп алудың артықшылықтарын көрсетеді.

Қазақстанның литийқұрамды гидроминералдық ресурстары хлорид, карбонат және т. б. түріндегі сұранысқа ие литий қосылыстарын алу үшін перспективті материал болып табылады.

Арал маңы мен Жақсықылыш көлінің литийқұрамды гидроминералдық ресурстарында, пайдалы компоненттерді талдау нәтижелері бойынша рапада Li 127,455–320,853 мг/кг, тұнба шөгінділерінде Li 511,220–1125,670 мг/кг, тұзды ертінділерде Li 403,314–1051,35 мг/л жетеді.

Дегенмен, қолданыстағы литий өндіру әдістері көбінесе қажетті экономикалық және экологиялық тиімділікті қамтамасыз етпейді, бұл литийқұрамды шикізатты қайта өңдеудің жаңа технологияларын әзірлеуді өзекті етеді.

Жергілікті гидроминералдық ресурстардан литий хлоридін экстракциялық және сорбциялық бөліп алудың тиімді әдістерін әзірлеу,

өндіріс шығындарын едәуір төмендетуге және Қазақстанды литий өнімін бәсекеге қабілетті жеткізуші елдер қатарына айналдыруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – бутил спирті және титан диоксиді қоспасымен модификацияланған сорбенттерді пайдаланып, Қазақстанның гидроминералдық ресурстарынан литий хлоридін экстракциялық және сорбциялық тәсілдермен бөліп алудың технологиясын әзірлеу.

Зерттеу міндеттері:

- литий қосылыстарын алудың заманауи әдістеріне талдамалық шолу жүргізу;
- литий көзі ретінде жарамдылығын анықтау мақсатында Қазақстанның гидроминералдық ресурстарының, атап айтқанда Арал теңізі тұзды ерітінділері және Жақсықылыш көлінің шөгінді лайлы тұнбаларының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу;
- тұзды ерітінділерді сілтілік экстракциялау үдерісі және титан диоксидімен белсендірілген алюмосиликатты сорбенттерді қолданып, сорбциялық үдерістің термодинамикалық және кинетикалық заңдылықтарын зерттеу;
- титан диоксидімен модификацияланған жергілікті алюмосиликатты материалдар негізіндегі сорбенттерде литийді селективті бөліп алуға арналған сорбциялық әдісті әзірлеу, сондай-ақ литий хлоридін жоғары деңгейде бөліп алуды қамтамасыз ететін оңтайлы технологиялық жағдайлар мен негізгі параметрлерді айқындау.
- бутил спирті және беттік-активті қоспаны (сульфанолды) қолданып, әртүрлі компоненттік қатынастар мен үдеріс шарттарында литий хлоридін экстракциялық жолмен бөліп алудың параметрлерін зерттеу және оңтайландыру;
- тұзды ерітінділерден литий хлоридін экстракциялық жолмен бөліп алуды үлкейтілген-зертханалық сынақтарда өткізу және әзірленген технологияның экономикалық тұрғыдан нысаналылығын бағалау.

Зерттеу нысандары:

- Арал теңізінің тұзды ерітінділері және литий иондары мен басқа да қоспалы жоғары минералданған сулы ерітінділер;
- гидроминералды ресурстардан литийді сорбциялық бөліп алу үшін қышқылмен белсендірілген және титан диоксидімен модификацияланған жергілікті алюмосиликатты материалдарға негізделген сорбенттер;
- гидроминералды шикізаттан литий хлоридін экстракциялау үшін экстрагент ретіндегі бутил спирті.

Зерттеу әдістері. Диссертацияда қойылған міндеттерді орындау үшін келесі әдістер қолданылды:

- INCA Energy 350 энергия-дисперсиялық микроталдау және поликристалдық үлгілердің құрылымын талдау жүйелері бар JEOL JSM 6490 LV микроскопында жүргізілген сканерлеуші электрондық микроскопия әдісі (РЭМ). Әдіс адсорбент үлгілерінің адсорбцияға дейінгі және адсорбциядан кейінгі микроқұрылымы мен элементтік құрамын зерттеу үшін қолданылды.

– Бастапқы сынамалар мен экстракция өнімдеріндегі литий мен сілтілі металдардың құрамын анықтау ContrAA 300 спектрометрін қолданып, атомдық абсорбциялық спектрометрия (ААС) әдісімен жүзеге асырылды. ААС әдісі сандық талдаудың жоғары сезімталдығы мен дәлдігін қамтамасыз етті.

– Рентгенфлуоресцентті талдау (РФТ) гидроминералды шикізат пен экстракция өнімдерінің элементтік құрамын зерттеу үшін қолданылды. РФТ күрделі көп компонентті қоспалардағы элементтердің концентрациясын тез және дәл анықтауға мүмкіндік берді.

– Сорбенттердің физикалық-механикалық беріктігі ТКМ-459 ультрадыбыстық қаттылық өлшегішпен өлшенді.

– Дисперсті материалдардың меншікті беті ПСХ-К құрал көмегімен анықталды. Бұл құрал меншікті бетті $100\text{--}50000\text{ см}^2/\text{г}$, ұнтақ бөлшектерінің орташа массалық мөлшерін $0,1\text{--}250\text{ мкм}$ аралығында өлшеуге мүмкіндік береді. Өлшеу қателігі $\pm 1,5\%$

– Литий хлоридін бөліп алу дәрежесі бастапқы рападағы литий тұзы мөлшерінің адсорбциядан кейінгі ерітіндідегі литий тұзының мөлшеріне қатынасы ретінде есептеп, нәтижені 100% -ға көбейту арқылы анықталды.

– HSC Chemistry бағдарламалық кешені литий қосылыстарын бөліп алудың әртүрлі жағдайларында термодинамикалық сипаттамаларының (энтальпия, энтропия, Гиббс энергиясы) өзгеруін есептеу үшін қолданылды. Термодинамикалық модельдеу зерттелетін жүйелердегі элементтер мен қосылыстардың тепе-теңдік таралуын анықтауға мүмкіндік берді.

– Литийді экстракциялау үдерісіндегі химиялық реакциялардың жылдамдығы мен механизмі сияқты кинетикалық параметрлерді анықтау Ротинян–Дроздов теңдеуі негізінде жүзеге асырылды.

– Дарбаза бентонит сазы, титан оксидіне негізделген сорбенттерді қолданып, Арал маңындағы тұзды ерітінділерден литий хлоридінің сорбциялық бөліну процесін математикалық жоспарлау үшін екінші ретті ротатабельді жоспарлау әдісі қолданылды. Теңдеулердің сәйкестігі Фишер критерийі бойынша тексерілді (F критерийі).

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдар:

– күкірт қышқылымен белсендірілген $0,1\text{M}$, $0,5\text{M}$, $1,8\text{M}$ $2:1$ қатынасында және $20\text{--}27\%$ мөлшерінде титан оксидімен модификацияланған бентониттер негізінде сорбенттерді дайындаудың физика-химиялық және физика-механикалық зерттеулерінің нәтижелері сілтілі және негізгі оксидтердің азаюына ықпал етеді. Қышқылдың мольдылығы мен қатынасы артқан сайын бентонит: титан оксиді $100:10, 100:20, 100:30, 100:40$, литийдің титанға ($R=n(\text{Li})/n(\text{Ti})$) қатынасы $1,98\text{--}2,05$ -ке тең болды. 1000°C температурада термиялық өңдеуден кейін ұзақтығы 60 минут, сорбенттердің механикалық беріктігі $5,25\text{ МПа}$ жетеді, меншікті беті $1560\text{ см}^2/\text{г}$.

– $298\text{--}1898\text{ K}$ температуралық аралықта $-42,401\text{ кДж/мольден}$ $-253,20\text{ кДж/мольге}$ дейін Гиббс энергиясының теріс мәндеріне ие литий оксиді, литий гидроксиді және литий хлоридінен литий карбонатын түзу реакцияларының жүру ықтималдығын айқындауға мүмкіндік беретін

термодинамикалық және кинетикалық зерттеулердің нәтижелері. Ротинян–Дроздов теңдеуі бойынша есептелген 1,91–27,68 кДж/моль аралығындағы «болжамды» белсендіру энергиясы диффузиялық шектелу жағдайында литий хлоридін бөліп алу процесінің жүзеге асырылу мүмкіндігінің критерийі болып табылады.

– температурасы 40–50 °С аралығында, зерттелетін сұйықтықтың шығыны 2,1–2,3 л/мин болғанда, ылғалдылығы 42–48 г/м³ және процесс ұзақтығы 70–90 с жағдайында модификацияланған алюмосиликатты сорбенттерде литийді сорбциялық жолмен бөліп алудың тәжірибе жүзінде расталған шарттары литий хлоридін бөліп алу дәрежесін 87–90%-ға дейін қамтамасыз етті.

– COMSOL Multiphysics® сандық моделі аясында алғаш рет тұзды ерітінділерден литийді бөліп алу үдерісінде тұзды ерітіндінің 0,1–0,5 м/с аралығындағы ағын жылдамдығы адсорбенттің қозғалмайтын қабатында қысым айырмасына сандық тұрғыдан әсер ететіні, ал 0,3–0,5 м/с жылдамдықтарда қабаттың гидродинамикалық кедергісі айқын артатыны анықталды.

– Бутанол мен сульфанолды қолданып, тұзды ерітінділерден LiCl экстракциясы бойынша үлкейтілген зертханалық зерттеулерде тұзды ерітінді:бутанол:сульфанол = 1:3:0,017 қатынасы және 15–20 минуттық режим пайдаланылды. Нәтижесінде экстракция дәрежесі 96,8–98,9 % болды, ал 25–35 °С температуралық аралықта литий хлоридін бөліп алу 87,2–98,9 % қамтамасыз етілді.

– литий хлоридін сорбциялық және экстракциялық бөліп алудың экономикалық көрсеткіштерін есептеу.

Зерттеудің негізгі нәтижелері. Зерттеудің негізгі теориялық нәтижелері титан оксидімен модификацияланған жергілікті алюмосиликатты минералдар негізінде литий хлоридін сорбенттермен бөліп алу технологиясын қолдануға бағытталған. Литийқұрамды гидроминералды тұзды ерітіндіні өңдеудің ұсынылып отырған технологиясы қазіргі әлемдік баламалардан түбегейлі ерекшеленеді, өйткені Қазақстанда алғаш рет жергілікті бентониттер негізінде жаңа сорбенттерді пайдаланып литий қосылыстары алынды. Арзан көпфункционалды сорбенттерді қолдану литий өнімдерін өндіруге кететін шығындарды азайтуға көмектесті.

Кешенді өңдеуді қамтамасыз ету мақсатында соңғы өнімнің ең жоғары шығымын қамтамасыз ететін, Арал маңы өңірінің тұзды ерітінділерін сульфанол қоспасындағы бутил спиртмен сілтілік экстракциялау негізінде қалдықсыз технология әзірленді.

Ұсынылып отырған технология бойынша ықтимал реакцияларды 298–1898 К аралығында Гиббс энергиясының өзгерісін есептеу негізінде жүргізілген термодинамикалық зерттеулер литий карбонатының оксидтер, гидраттар, сульфаттар және литий хлориді қатысуымен түзілуі мүмкін екенін көрсетті, бұған ΔG теріс мәндерінің –32,82-ден –280,5 кДж/мольге дейін болуы дәлел. $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,5\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{O}_2$ (1); $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{O}_2$ (2) жұмыс жүйелерін 290–1898 К температуралық аралықта термодинамикалық

модельдеу 1000°C -та $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ қосылысының 45% -ға дейін тұрақты түзілетінін көрсетті; шамамен 200°C аймағында $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ыдырауы байқалып, нәтижесінде $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ түзілуі 55% -ға дейін артты. (2) жүйесінде SiO_2 мөлшерін 2 мольге дейін арттыру $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ -нің ыдырауы есебінен Al_2O_3 үлесінің 99% -ға дейін күрт жоғарылауына ықпал етті. Жоғары температуралық аймақта $63\% 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ және $84\% \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ түзілді.

Титан оксидімен модификацияланған бентонитті саз негізіндегі сорбенттердің ИҚ-спектрометриялық талдауы $547\text{--}995\text{ см}^{-1}$ аралығында Si-O-Al коваленттік байланыстарына тән кең жұтылу жолағын және $1114\text{--}1431\text{ см}^{-1}$ аралығында Si-O-Ti байланыстарына сәйкес келетін, қарқындылығы төменірек шыңдарды анықтады.

Экстракция шарттарын (температура, процестің ұзақтығы және реагенттер қатынасы) математикалық жоспарлау литийді бөліп алудың жоғары дәрежесін қамтамасыз ететін оңтайлы параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді: атап айтқанда, бутанол мен сульфанолдың оңтайлы қатынасы $1:3:0,017$ және процесс ұзақтығы $10\text{--}35$ минут болғанда литийдің экстракция дәрежесі $98,9\%$ -ға жетті; 25°C -та $10\text{--}40$ минут аралығында литийді бөліп алу дәрежесі $87,2\text{--}95,95\%$ құраса, 30°C -та $88,4\text{--}98,9\%$ -ға дейін, ал 35°C -та $92,6\text{--}97,9\%$ жетті.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу.

Диссертациялық жұмыста алғаш рет Арал маңы өңірінің зерттелген гидроминералдық шикізаты үшін литий хлоридін сорбциялық-экстракциялық әдіспен бөліп алудың заңдылықтары ғылыми тұрғыдан негізделді.

ИҚ-спектрометриялық және рентгенфлуоресценттік талдаулардың нәтижелері титан оксидімен модификацияланған бентониттер негізінде дайындалған сорбенттердің теориялық тұрғыдан болжанған ерекшеліктерін растады. $20\% \text{TiO}_2$ қоспасы бар сорбенттің 800°C -та термиялық өңдеуден кейінгі ИҚ-спектрометриялық талдауы $547,78\text{--}995,27\text{ см}^{-1}$ аралығында монтмориллониттің Si-O-Al коваленттік байланыстарына тән тербелістердің кең жолағын көрсетті. Сорбентті термиялық өңдеуден кейін $1431,1504,48\text{ см}^{-1}$ аймағында Si-O валенттік байланыстарына сәйкес келетін, қарқындылығы төменірек тербеліс жолақтары пайда болды. TiO_2 мөлшерінің болуы сорбенттердің меншікті беттік ауданын және литий иондарын байланыстыруға ықпал ететін адсорбциялық орталықтарды қалыптастырды.

800°C температурада термиялық өңделген және ұзақтығы 60 минут болатын титан оксиді қоспасының әртүрлі қатынасы бар сорбенттерді физика-механикалық зерттеу нәтижелері $20\text{--}27\% \text{TiO}_2$ қосылғанда сорбенттердің жоғары физика-механикалық көрсеткіштері және меншікті беті бар екенін көрсетті. Бұл көрсеткіштер түйіршіктердің орташа диаметрінің $15,9$ -дан $18,5$ мм-ге дейін ұлғаюымен расталды, бұл ретте түйіршіктердің механикалық беріктігі $5,29\text{--}5,3$ МПа-ға жетті.

$298\text{--}1898\text{ К}$ аралықта Гиббс энергиясы бойынша жүргізілген термодинамикалық есептеулер процестердің мақсатты литий қосылыстарын алуға қарай бағытталғанын көрсетті; бұл ретте 1798 К кезіндегі $-42,401\text{ кДж/моль}$ тең ΔG есептік мәні литий карбонатының оксидінен түзілу

реакциясына, ал -280,5 кДж/моль литий карбонатының хлоридінен түзілуіне сәйкес келді. Гиббс энергиясы өзгерісінің 460 кДж/моль және 68 кДж/моль мәндерінде титан хлориді мен литий титанатының түзілуі термодинамикалық тұрғыдан мүмкін емес.

Алюмосиликат матрицасы мен TiO_2 қатысатын жүйе үшін алюмосиликаттардың $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ типіндегі фазаларға қайта бөлінуі анықталды.

Литий хлоридін сорбциялық әдіспен бөліп алу шарттарын екінші ретті рототабельді жоспарлау әдісімен математикалық жоспарлау нәтижелері ылғалдылықтың 45–89%, шығынның 2,3–3,9 л/мин және температураның 30–50 °C аралығындағы айнымалы факторлары литий хлоридін максималды деңгейде бөліп алуға елеулі әсер ететінін көрсетті. Осы жағдайларда газодинамикалық сыйымдылығы 252 мэкв./г болғанда, тұзды ерітіндідегі литий хлоридінің концентрациясы 1000 мг/л және сызықтық жылдамдық 0,25 м/мин болған кезде литий хлоридін бөліп алу дәрежесі 87%-дан 90%-ға дейін артты.

Бутил спиртін қолданып, тұзды ерітінділерден литий хлоридінің экстракциялық бөліп алуын кинетикалық зерттеу процестің тиімділігіне әсер ететін параметрлерді анықтауға мүмкіндік берді. Ротинян–Дроздов теңдеуін қолдану литий хлоридінің бөліп алу дәрежесіне температура, ағын жылдамдығы, тұзды ерітіндінің ылғалдылығы айтарлықтай әсер ететіндігін көрсетті.

Литий хлоридін бөліп алу дәрежесінің тәуелділігінің сызықтық сипатта болуы осы жүйе үшін Ротинян–Дроздов теңдеуін қолданудың негізді екенін растайды. Белсендіру энергиясын 1,91–27,68 кДж/моль аралығында есептеу нәтижелері үдерістің диффузиялық аймақта жүретінін сипаттады.

Ұсынылған сорбентте литий хлориді сорбция дәрежесінің үшөлшемді тәуелділігі тұзды ерітіндінің ылғалдылығы төмендеген сайын литийді бөліп алу дәрежесі 90%-ға дейін артатынын көрсетті.

Тұзды ерітіндінің ағын жылдамдығы 0,1-ден 0,5 м/с-қа дейін арттыруды ескеретін сорбциялық қондырғының сандық моделі әзірленді, оның нәтижелері кеуекті қабаттың гидродинамикалық кедергісінің ұлғаюын, қысым түсуінің 600 Па-ға дейін артуын, сондай-ақ адсорбентке кірісінде ағынның құйындану аймақтарының қалыптасатын көрсетті.

Литийкұрамды тұзды ерітінділерді бутил спиртімен экстракциялаудың теориялық және эксперименттік нәтижелері негізінде үлкейтілген-зертханалық сынақтар жүргізіліп, материалдық баланс пен экономикалық тиімділігі айқындалды.

Зерттеу нәтижелері 3 ҚР пайдалы моделіне патент (№3657, 21.10.2017 ж., №4959, 22.05.2020 ж. №5326, 28.08.2020 ж.) және үлкейтілген сынақтар актісімен (№22, 13.01.2026 ж.) және ҒЗЖ нәтижелерін оқу процесіне ендіру актілерімен расталды (№217, 218, 24.12.2024ж.).

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі. Диссертациялық жұмыс М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Бейорганикалық және мұнай-химия

өндірістерінің технологиясы» кафедрасының 2021-2025 жж. арналған МБ ҒЗЖ-21-03-02 «Жаңа перспективалық технологияларды әзірлеу және минералды шикізат пен техногендік қалдықтар негізінде бейорганикалық өнімдерді, экологиялық қауіпсіз тыңайтқыштар мен өсімдіктердің өсу стимуляторларын алудың дәстүрлі технологияларын жетілдіру» ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспары аясында орындалды.

Докторанттың әрбір жарияланымды дайындауға қосқан жеке үлесі.

Диссертациялық жұмыс шеңберіндегі зерттеулердің нәтижелері бойынша 17 ғылыми еңбек жарияланды, оның ішінде 3 ҚР пайдалы моделіне патент, уәкілетті орган ұсынған ғылыми басылымдарда 2 мақала (ҚР ҒЖБМ ҒЖББСБК), Scopus/Web of Science дерекқорында индекстелетін рецензияланатын ғылыми басылымдарда 5 мақала, халықаралық журналдарда, соның ішінде халықаралық ғылыми конференциялардың жинақтарында 10 мақала. Зерттеу нәтижелері бойынша оқу процесіне ғылыми зерттеу нәтижелерін енгізудің екі актісі алынды №217, №218 24.12.2024 ж.

1. «ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences» журналында жарияланған «Development prospects of new technologies of lithium-containing products» мақаласында литийдің мөлшері мен қоспалардың құрамын анықтау мақсатында эксперименттік зерттеулер жүргізіліп, алынған өнімдерге талдамалық сараптама жасалды. Зерттеу нәтижелері графикалық тәуелділіктер және кестелік деректер түрінде жүйеленіп, рәсімделді.

2. «The Open Chemical Engineering» (Sharjah, U.A.E.) журналында жарияланған «Mathematical Modeling of Sorptive Extraction of Lithium Chloride from Lithium-containing Brine of the Aral Sea Region» мақаласында Арал өңірінің литийкүрамды рассолдарынан литий хлоридін сорбциялық әдіспен бөліп алуға қатысты эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Алынған нәтижелер көлемдік графикалық тәуелділіктер түрінде өңделіп, рәсімделді.

3. «The Open Chemical Engineering» (Sharjah, U.A.E.) журналында жарияланған «Investigation of the Process of Agglomeration of Phosphorites Using Phosphate-Siliceous Shales and Oil Sludge» мақаласында бастапқы және алынған өнімдердің физика-химиялық талдаулары айқындалып, сипатталды, сондай-ақ декарбонизация үдерісінің тәуелділіктері бойынша көлемдік графиктер рәсімделді.

4. «Journal of Ecological Engineering – Lublin» журналында жарияланған «Studies of Physicochemical Bases and Optimization of Environmentally Safe Technology of Lead Production Waste Recycling» мақаласында реакциялар бойынша Гиббс энергиясының өзгеруіне қатысты графикалық тәуелділіктер рәсімделіп, металдардың бөліну үдерісін сипаттайтын көлемдік графикалық тәуелділіктер тұрғызылды.

5. «Oriental Journal of Chemistry» (Bhopal) журналында жарияланған «Process of obtaining sorbents from bentonite and refractory clays using industrial wastes» мақаласында термодинамикалық көрсеткіштерді есептеу үшін 18 реакция дайындалып, алынған деректер графиктер мен кестелер түрінде рәсімделді.

6. «Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің хабаршысы» журналында жарияланған «Математическое

моделирование процесса получения сорбентов для выделения фосфора из шламов» мақаласында сорбциялық материалдардың физика-механикалық көрсеткіштері зерттеліп, нәтижелер графикалық деректер түрінде рәсімделді.

7. «Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы» журналында жарияланған «Математическое описание процесса сорбционной очистки сточных вод химических производств» мақаласында сорбциялық тазарту үдерісі зерттеліп, деректер көлемдік графикалық тәуелділіктер түрінде өңделіп, рәсімделді.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыстың көлемі 122 бетті құрайды, 42 кесте мен 52 суретті қамтиды. Жұмыс кіріспе, 5 бөлім, қорытынды, 116 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімі және 4 қосымшадан тұрады.