

АННОТАЦИЯ

Қалымбет Арайлым Қайролдақызының «Отандық шикізаттан сорбциялық-сүзгілік материалдар алу технологиясын жасау және қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына, 8D07109 – «Инновациялық технологиялар және жаңа бейорганикалық материалдар» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Су ресурстарының ауыр металл иондарымен, атап айтқанда мыс иондарымен ластануы өнеркәсіптік дамумен байланысты ең өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып қала береді. Cu^{2+} иондары тау-кен және металлургия өнеркәсібінің ағынды суларында кеңінен кездеседі және уыттылығымен, тұрақтылығымен және биоаккумуляциялану қабілетімен сипатталады. Дәстүрлі тазарту әдістері көбінесе жоғары құнымен, жеткіліксіз тұрақтылығымен және нақты жағдайларда тиімділігінің төмендігімен шектеледі.

Суды көпсатылы тазарту жүйелерінде ерекше маңыз соңғы тазарту (полирлеуші тазарту) кезеңіне беріледі, бұл кезеңде сорбциялық материалдар құрылымдық тұрақтылықты, төмен ерігіштікті, жоғары механикалық беріктікті және динамикалық сүзу жағдайларында сенімді жұмыс істеуді қамтамасыз етуі тиіс.

Қазақстанда силикатты және алюмосиликатты фазаларды қамтитын тау-кен өндірісі мен кен байыту қалдықтарының едәуір көлемі түзіледі, олар функционалдық сорбенттерді синтездеу үшін қолайлы шикізат болып табылады. Оларды тиімді пайдалану экономикалық тұрғыдан тиімді материалдарды әзірлеуге мүмкіндік береді және тұрақты даму мен циркулярлық экономика қағидаттарына сәйкес келеді.

Зерттеу объектісі.

Қазақстанның отандық кен орындарының байыту қалдықтарынан синтезделген силикофосфатты сорбциялық-сүзгілеуші материалдар.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – отандық кен байыту қалдықтары негізінде құрылымдық тұрақты силикофосфатты сорбциялық-сүзгілеуші материалдарды алу технологиясын әзірлеу және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу, сондай-ақ Cu^{2+} иондарын жою тиімділігін теңгерімдік, кинетикалық және динамикалық жағдайларда бағалау.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

– бастапқы шикізатты сипаттау және оның прекурсор ретінде жарамдылығын бағалау;

– ортофосфор қышқылымен модификациялау (20–35 мас.% H_3PO_4) және кейінгі термиялық өңдеу (400–800°C) арқылы силикофосфатты материалдарды синтездеу;

- алынған материалдардың құрылымдық және беткі қасиеттерін, судағы ерігіштігін және механикалық беріктігін зерттеу;
- сорбцияның теңгерімдік және кинетикалық сипаттамаларын зерттеу;
- колонналық (сүзгілеу) жүйелердегі динамикалық сипаттамаларын бағалау;
- синтез шарттары, құрылым және сорбциялық қасиеттер арасындағы өзара байланыстарды анықтау;
- әзірленген сорбциялық-сүзгілік материалдарды алу технологиясының материалдық балансын есептеу.

Ғылыми жаңалығы.

– Алғаш рет Ақбақай кен орнының флотациялық қалдықтары минералогиялық құрамы мен қышқылды-термиялық модификация жағдайындағы реакциялық қабілетіне негізделі отырып, силикофосфатты сорбенттерді алуға тиімді бастапқы шикізат ретінде ғылыми тұрғыда негізделді.

– Алғаш рет силикофосфатты сорбенттерді синтездеудің әдісі әзірленіп, құрылымдық тұрақтылық пен беттік функционализацияны қамтамасыз ететін оңтайлы жағдайлар (600 °С, 20 мас.% H_3PO_4) анықталды.

– Алғаш рет силикофосфатты материалдардың Cu^{2+} иондарына қатысты тепе-теңдік, кинетикалық және динамикалық сорбциялық қасиеттері кешенді түрде зерттеліп, сорбцияның біріктірілген механизмі (беткі комплекс түзілу, ион алмасу және электростатикалық әрекеттесу) негізделді.

– Әзірленген сорбенттің бентонитпен салыстырғанда жоғары тиімділік көрсететіні дәлелденіп, оның құрамында мыс бар өнеркәсіптік ағын суларды соңғы (терең) тазартуда қолдану мүмкіндігі көрсетілді.

Практикалық маңыздылығы.

– отандық техногендік шикізаттан құрылымдық тұрақты сорбциялық-сүзгілеуші материалдарды алу технологиясы әзірленді;

– алынған силикофосфатты материалдар төмен ерігіштікпен (~1%) және жоғары механикалық беріктікпен (91%-ға дейін) сипатталады, бұл олардың сүзу жағдайларында тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз етеді;

– әзірленген сорбенттер Cu^{2+} иондарын жоюда жоғары тиімділік көрсетеді (>97% статикалық жағдайда және 83%-дан жоғары динамикалық жағдайда), қалдық концентрациясы 0,2 мг/л-ден төмен;

– жоғары дисперстілігі және ерігіштігімен (42–80%) сипатталатын бентонитпен салыстырғанда, әзірленген материалдар жоғары құрылымдық тұрақтылық пен сүзу жүйелерінде сенімді жұмыс істеуді қамтамасыз етеді;

– жоғары дамыған адсорбенттермен салыстырғанда теңгерімдік сорбциялық сыйымдылығының орташа болуына қарамастан, физика-химиялық тұрақтылық пен қолжетімді шикізаттың үйлесімі оларды суды полирлеуші тазарту үшін перспективалы етеді.

Зерттеу әдістері.

Силикофосфатты материалдарды синтездеу ортофосфор қышқылымен химиялық модификациялау әдісі арқылы, кейінгі термиялық өндеумен жүзеге асырылды.

Синтезделген материалдардың құрылымдық және физика-химиялық сипаттамалары DRON-3 құралындағы рентгенфазалық талдау (XRD), JEOL 733 құралындағы электронды-зондтық микроанализ (EPMA), Bruker Alpha II құралындағы инфрақызыл спектроскопия (FTIR), JEOL JSM-6490LA құралындағы сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM), Beishide BSD 660 құралындағы БЭТ әдісі бойынша меншікті бет ауданының талдауы, сондай-ақ Malvern Zetasizer Nano ZS90 құралындағы дзета-потенциалды өлшеу арқылы зерттелді.

Сорбциялық қасиеттері периодтық сорбция және сорбенттің қозғалмайтын қабаты арқылы үздіксіз сүзу әдістерін қолдана отырып, статикалық (тепе-теңдік және кинетикалық) және динамикалық (бағаналық) жағдайларда зерттелді. Мыс иондарының концентрациясы Shimadzu AA-7000 құралында ISO 8288:1986 стандартына сәйкес атомдық-абсорбциялық спектрометрия әдісімен анықталды. Динамикалық зерттеулер ГОСТ 20255.2–89 талаптарын ескере отырып жүргізілді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер:

1. Ақбақай кен орны рудасының флотациялық қалдықтарын (67 масс.% SiO₂, алюмосиликатты және карбонатты фазалар) 20 масс.% H₃PO₄ ерітіндісімен 600 °C температурада қышқылды-термиялық модификациялау нәтижесінде ерігіштігі төмен (~1%), механикалық беріктігі жоғары (91%), ВЭТ бойынша меншікті бет ауданы 4,02 м²/г және жоғары теріс беттік зарядқа ($\zeta = -20,1$ мВ) ие силикофосфатты материал алынды, бұл беттің құрылымдық функционалдануын және сорбциялық қабілетінің жоғарылағанын көрсетеді.

2. Ақбақай кен орнының флотациялық қалдықтары негізінде синтезделген силикофосфатты материал Cu²⁺ иондарын жоюдың жоғары тиімділігін көрсетті (>97% 1–40 мг/л концентрация аралығында), ал максималды тепе-теңдік сыйымдылығы 1,33 мг/г құрады. Жылдам сорбция (>98% 2 минут ішінде) және кинетикалық модельдеу нәтижелері (R² = 1,000) беттік комплекс түзілу, ион алмасу және электростатикалық әрекеттесулерді қамтитын аралас механизмнің жүзеге асатынын дәлелдейді.

3. Әзірленген сорбент статикалық жағдайда Cu²⁺ иондарының қалдық концентрациясын бентонитпен (ТУ 2164-004-00204493-2009) салыстырғанда айтарлықтай төмен деңгейге дейін азайтады (<0,2 мг/л және 1–2 мг/л сәйкесінше), бұл оның жоғары тиімділігін және құрамында мыс бар өндірістік ағынды суларды терең тазарту технологияларында қолдануға тиімді екенін растайды. Сорбентті алу технологиясы бастапқы шикізатты қышқылмен өңдеу, термиялық белсендіру және фосфатқұрамды функционалданған құрылымды қалыптастыру сатыларын қамтиды.

Мемлекеттік бағдарламалармен байланысы.

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасының минералдық ресурстарды ұтымды пайдалану, қалдықтарды қайта өңдеу және қоршаған ортаны қорғауға бағытталған ұлттық ғылыми бағдарламалары аясында қаржыландырылатын ғылыми-зерттеу жобалары шеңберінде орындалды: №BR21881939 «Тау-кен металлургиялық кешені үшін ресурстарды үнемдейтін энергия өндіру технологияларын әзірлеу және инновациялық

инженерлік орталық құру» (2023-2025) және №AP22685109 «Отандық шикізаттан сорбциялық-сүзгілік материалдар алу технологиясын жасау мен қасиеттерін зерттеу, және оларды суды ауыр металдардан тазарту үшін қолдану» (2024-2026).

Сонымен қатар, зерттеу Қазақстан Республикасының негізгі стратегиялық және нормативтік құжаттарына сәйкес келеді, оның ішінде Қазақстан Республикасының «жасыл экономикаға» көшу тұжырымдамасы (ҚР Президентінің 2013 жылғы 30 мамырдағы №577 Жарлығы), Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі (2021 жылғы 2 қаңтардағы №400-VI ҚРЗ), Қазақстан Республикасында ғылымды дамытудың 2023–2029 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасы, сондай-ақ Қазақстан Республикасының су ресурстарын басқару жөніндегі мемлекеттік бағдарламасы (2030 жылға дейін).

Жарияланымдар.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері 7 ғылыми жарияланымда көрініс тапқан, оның ішінде Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық рецензияланатын ғылыми журналдарда жарияланған 4 мақала; Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналда жарияланған 1 мақала және конференция материалдарында жарияланған 2 еңбек бар.

Scopus деректер базасына енгізілген халықаралық рецензияланатын ғылыми журналдардағы мақалалар:

1. Kalymbet A., Kubekova Sh., Lavrova S. Ore enrichment waste as raw material for heavy metal sorbents. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2025, Vol. 60, No. 4. <https://doi.org/10.59957/jctm.v60.i4.2025.14>

2. Kalymbet A., Kubekova Sh., Kapralova V., Lavrova S. From Gold Mining Waste to Functional Sorbents: Structural and Compositional Insights into Copper Adsorption Efficiency. *ES Materials and Manufacturing*, 2025, 30, 1777. <https://doi.org/10.30919/mm1777>

3. Kalymbet A., Kubekova Sh., Kapralova V., Rysbekov K., Lavrova S. Valorization of Manganese Ore Tailings from the Borly Deposit into Functional Sorbents. *Engineered Science*, 2025, 37, 1775. <https://doi.org/10.30919/es1775>

4. Kalymbet A., Kubekova Sh., Kapralova V., Lavrova S. Feasibility Study into the Possibility of Manganese Ore Enrichment Waste Use for Sorbent Material Development. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2026, Vol. 61, No. 1. <https://doi.org/10.59957/jctm.v61.i1.2026.215>

Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым және жоғары білім беру сапасын қамтамасыз ету Комитеті ұсынған журналда жарияланым:

1. Kalymbet A., Kubekova Sh., Kapralova V. Comparative Study of a Silicophosphate Sorbent Based on Enrichment Wastes from the Akbakay Deposit and Bentonite in the Sorption of Copper Ions from Aqueous Solutions. *Mechanics and Technology / Scientific journal. Chemical Technologies Section*. 2026, No.1(91). P.440-445. ISSN 2308-9865, eISSN 2959-7994. <https://doi.org/10.55956/DBHH4781>

Конференция материалдарында:

1. Қалымбет А. Қ., Кубекова Ш.Н.. Изучение состава силикофосфатных сорбентов на основе техногенного сырья месторождения Ашиктас. *Труды Сампаевских чтений "Сампаевские Чтения - 2021"*. Том II. Алматы, 2021. 306-309 стр. ISBN 978–601–323–246–1

2. Kalymbet A. Synthesis and Infrared Characterization of Silicophosphate Sorbents Based on Sulfide Gold Ore Waste from the Akbakay Deposit. *LXXI International Multidisciplinary Conference "Recent Scientific Investigation"*. Primedia E-launch LLC, Shawnee, USA, 2025, pp. 56–60. ISBN 978-1-64871-560-0