

FTAMP 61.31.51

А.С. Дарменбаева<sup>1</sup> – негізгі автор, | ©  
Б.К. Масалимова<sup>2</sup>, Ж.Б. Мукажанова<sup>3</sup>



<sup>1,3</sup>PhD, <sup>2</sup>Хим. ғылым. канд., қауымдастырылған профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2974-0398> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0135-9712>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-4635-8000>



<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,

Петропавл қ., Қазақстан

<sup>3</sup>С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,

Өскемен қ., Қазақстан

@

<sup>1</sup>[maral88@mail.ru](mailto:maral88@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/RNZL3070>

## АЛЮМИНИЙ НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста алюминий-кобальт-молибден (АКМ) нанобөлшектерінің синтезінің және олардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу нәтижелері берілген. Нанобөлшектер золь-гель әдісімен синтезделді, бұл жоғары меншікті беті және бақыланатын морфологиясы бар материалдарды алуға мүмкіндік берді. Нанобөлшектердің микроқұрылымы мен химиялық құрамын талдау үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) және инфрақызыл спектроскопия (ИК) әдістері қолданылды. Рентгендік микроталдау алюминий тасымалдаушысының бетінде белсенді компоненттердің (Со және Мо) біркелкі таралуын растады. Алынған нәтижелер АКМ нанобөлшектерінің жоғары каталитикалық потенциалын көрсетеді, бұл оларды әртүрлі өнеркәсіптік процестерде қолдану үшін перспективалы материалдар етеді. Одан әрі зерттеулер синтезді оңтайландыруға және катализаторларды нақты жағдайларда сынауға бағытталады.

**Тірек сөздер:** алюминий-кобальт-молибден нанобөлшектері, золь-гель әдісі, сканерлеуші электронды микроскоп, инфрақызыл спектроскопия, рентгендік микроталдау.



Дарменбаева, А.С. Алюминий негізіндегі композиттік материалдарды синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеу [Мәтін] / А.С. Дарменбаева, Б.К. Масалимова, Ж.Б. Мукажанова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №3(85). – Б.367-374. <https://doi.org/10.55956/RNZL3070>

**Кіріспе.** Соңғы онжылдықтарда нанотехнология ғылым мен техниканың қарқынды дамып келе жатқан салаларының біріне айналды. Наноматериалдар өзінің ерекше қасиеттеріне байланысты қарқынды зерттеу нысанына айналды. Сондай материалдардың бірі – каталитикалық, магниттік және механикалық қасиеттеріне байланысты назар аударған алюминий-кобальт-молибден (Al-Co-Mo) нанобөлшектері [1,2]. Мұндай нанобөлшектерді синтездеу және қасиеттерін зерттеудің тиімді әдістерін жасау әртүрлі салалар мен медицинада

қолданылатын жоғары өнімді материалдарды жасау үшін жаңа бағыттарды ашады.

Бастапқыда ауыспалы металл нанобөлшектеріне қызығушылық олардың көмірсутектерді гидрокүкіртсіздендіру және гидрокрекинг сияқты каталитикалық процестердегі белсенділігіне байланысты болды [3]. Бұл процестердегі жоғары тиімді катализаторлар өнімділікті айтарлықтай арттырып, операциялық шығындарды азайтады және мұндай процестер мұнай-химия өнеркәсібінің кілті болып табылады. Кейіннен зерттеулер осындай наноматериалдардың магниттік және оптикалық қасиеттеріне дейін кеңейіп, оларды магнитті сақтау орталарында және медициналық диагностикада қолдануға жол ашты [4].

Жақсартылған сипаттамалары бар жаңа материалдарды құрудың заманауи қажеттіліктері Al-Co-Mo нанобөлшектерін синтездеу мен зерттеуге бағытталған зерттеулердің өзектілігін анықтайды. Бұл нанобөлшектер тотығуға жоғары төзімділікті, сонымен қатар әртүрлі химиялық реакциялардағы елеулі каталитикалық белсенділікті көрсетеді, бұл оларды қиын жұмыс жағдайында пайдалану үшін перспективалы етеді [5]. Жаһандық экология контекстінде, сонымен қатар, Al-Co-Mo негізіндегі тиімді нанокатализаторларды жасау қоршаған ортаға зиянды заттардың шығарындыларын азайту арқылы экологиялық таза технологиялық процестерге ықпал ете алатынын атап өткен жөн [6].

Al-Co-Mo нанобөлшектерін синтездеу процесс параметрлерін дәл бақылауды талап ететін күрделі міндет. Бүгінгі таңда мұндай наноматериалдарды синтездеудің бірнеше тәсілдері бар, соның ішінде золь-гель әдісі, термиялық ыдырау, микротолқынды синтез және химиялық тұндыру [7]. Бұл әдістердің әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Мысалы, золь-гель әдісі біртектілігі жоғары нанобөлшектерді алуға мүмкіндік береді, бірақ процесті аяқтау үшін ұзақ уақыт қажет [8]. Сонымен қатар микротолқынды синтез жылдамырақ және үнемді, бірақ масштабтау кезінде жүзеге асыру қиын [9].

Al-Co-Mo нанобөлшектерінің физикалық және химиялық қасиеттерін зерттеу оларды зерттеудің маңызды аспектісі болып табылады, өйткені бұл қасиеттер олардың ықтимал қолданылуын анықтайды. Магниттік қасиеттер, мысалы, коэрцитивтік күші және қанықтыру магниттелуі нанобөлшектердің мөлшеріне, морфологиясына және құрамына байланысты [10]. Бұл параметрлерді синтез процесі кезінде өзгертуге болады, бұл нақты қолданбалар үшін материал сипаттамаларын мақсатты бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Al-Co-Mo нанобөлшектерінің каталитикалық белсенділігі де қызығушылық тудырады, әсіресе гидрогенизация және тотығу реакциялары жағдайында олар жоғары тиімділікті көрсетеді [11].

Al-Co-Mo нанобөлшектерінің әлеуетті қолданулары өнеркәсіптік және ғылыми қолданбалардың кең ауқымын қамтиды. Мұнай химиясында оларды мұнай мен газды өңдеу процестерін жақсарту үшін катализатор ретінде пайдалануға болады. Электроника мен магнетизмде мұндай нанобөлшектерді жоғары тиімді магниттік сақтау ортасы мен сенсорларды жасау үшін пайдалануға болады. Медицинада Al-Co-Mo нанобөлшектерін магнитті-резонансты бейнелеу (МРТ) үшін контраст агенттері ретінде және гипертермия арқылы қатерлі ісік терапиясында қолдану мүмкіндіктері зерттелуде [12].

Осылайша, алюминий-кобальт-молибден нанобөлшектерінің синтезі мен қасиеттерін зерттеу ғылыми зерттеудің өзекті және перспективалық

бағыты болып табылады. Бұл материалдарды одан әрі зерттеу өнеркәсіптің әртүрлі салаларында жаңа жоғары тиімді технологияларды жасауға ықпал етеді, бұл жұмыстың маңыздылығын анықтайды.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Золь-гель әдісі – нанобөлшектерді және катализаторларды синтездеудің ең тиімді және кеңінен қолданылатын әдістерінің бірі. Процесс біртектілігі жоғары және бақыланатын бөлшектер өлшемдері бар материалдарды шығарады. Төменде золь-гель әдісімен алюминий-кобальт-молибден (АКМ) катализаторын дайындаудың қадамдық процедурасы берілген. Алдын ала дайындалған шыны ыдысқа кобальт алюминаты немесе органикалық еріткіштегі еритін алюминий мен кобальт тұздарының қоспасы қосылады. 0,1-1,0 М диапазонында металл концентрациясы бар ерітінді қолданылады, ерітіндіні реагенттер толығымен ерігенше магнитті араластырғышпен мұқият араластыру керек. Алынған ерітіндіге аммоний молибдатының алдын ала есептелген және өлшенген массасы қосылады. Компоненттердің қатынасы қажетті катализатор құрамына байланысты өзгеруі мүмкін. Біртекті ерітінді алынғанша араластырылады. Алынған зольді толық геледену үшін бөлме температурасында 12-24 сағат ұстайды. Геледену процесі кезінде геледің үш өлшемді желілік құрылымы қалыптасады. Процесті жылдамдату үшін 50-70°C температурада қыздыруды қолдануға болады. Бұл еріткіштің тезірек булануына және геледің пайда болуына ықпал етеді. Түзілген гель 100-120°C температурада 12-24 сағат бойы мұқият кептіріледі. Бұл қалдық еріткіш пен суды кетіруге мүмкіндік береді. Содан кейін кептірілген гель органикалық қалдықтарды кетіру және материалды конденсациялау үшін 300-500°C температурада термиялық өңдеуден өтеді. Кептірілген геледі муфельді пеште 500-800°C температурада 2-4 сағат қыздырады. Кальцинация оксид фазаларының кристалдануына және белсенді катализатор бетінің пайда болуына ықпал етеді.

Алынған Al-Co-Mo нанобөлшектері сканерлі электронды микроскоп (СЭМ), инфрақызыл спектроскопия (ИҚС), элементтік талдау әдістерінің көмегімен зерттеледі.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** ИҚ-спектроскопия материалдардың құрылымдық сипаттамаларын, атап айтқанда, химиялық құрамын, функционалдық топтардың болуын және катализатор компоненттерінің өзара әрекеттесу сипатын зерттеуге арналған қуатты әдіс болып табылады. Алюминий-кобальт-молибден (АКМ) композиттік материалын ИҚ-спектроскопия арқылы зерттеу тәсілі төменде сипатталған.

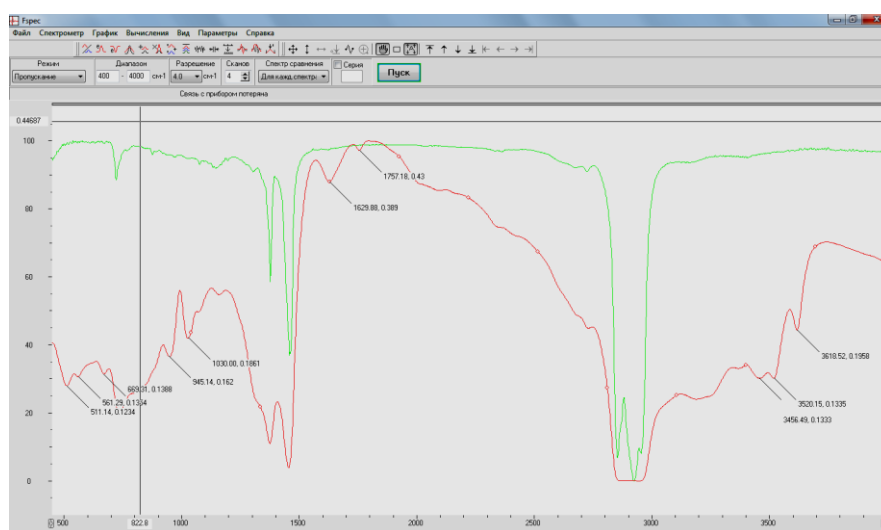
3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  аймағында гидратталған қосылыстардың немесе адсорбцияланған судың болуын көрсетуі мүмкін гидроксил топтарының (О-Н) созылу тербелістеріне сәйкес келетін жолақтарды байқауға болады. 1400-1600  $\text{cm}^{-1}$  және 800-1100  $\text{cm}^{-1}$  аймағындағы жолақтар карбонат топтарының тербелісімен байланысты болуы мүмкін ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), катализатордың бетінде карбонаттардың болуын немесе синтезде қолданылатын комплекс түзуші заттардың қалдық іздерін көрсетуі мүмкін. 400-1000  $\text{cm}^{-1}$  аймағында Co-O, Mo-O және Al-O сияқты металл оксиді байланыстарымен байланысты тербелістерді күту керек. Бұл жолақтар металл координациясы және катализатордағы оксид фазаларының құрылымы туралы ақпаратты бере алады. Металл кешендерінің ИҚ спектрлерінің нәтижелері 1-суретте берілген.

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  тұзының ИҚ спектрлерінде 3000-3150  $\text{cm}^{-1}$  диапазонында судың созылу тербелістерінің интенсивті жұтылу жолақтары байқалады. Спектрдің төменгі жиілікті аймағында судың деформация тербелістерінің

жұту жолақтары  $1620 \pm 10 \text{ см}^{-1}$  орналасады. Жиілігі  $800\text{-}860 \text{ см}^{-1}$  интенсивті абсорбция жолағы  $\text{NO}_3^-$  анионының сіңірілуіне жатады.

Катализаторлардың спектрлерінде  $3520 \text{ см}^{-1}$  (созылу тербелісі) және  $1629 \text{ см}^{-1}$  (иілу тербелісі) жұтылу жолақтары байқалады және  $\text{-OH}$  топтарына жатады. Кейбір металл катиондары металл бөлшектеріне айналды, ал кейбіреулері  $\text{Co(OH)}^-$  түрінде қалды, бұл ИҚ спектріндегі  $3618 \text{ см}^{-1}$  жұтылу жолағымен расталды.

Mo-O және Co-O тербелістерімен байланысты жолақтардың орны мен қарқындылығының өзгеруі бетінде аралас оксидтердің немесе кешендердің пайда болуы сияқты катализатор компоненттерінің өзара әрекеттесуін көрсетуі мүмкін. Бастапқы прекурсорлар мен алынған катализатордың спектрлерін салыстыру синтез кезінде прекурсорлардың ыдырауы, жаңа фазалардың пайда болуы, металл координациясының өзгеруі сияқты өзгерістерді анықтауға мүмкіндік береді.

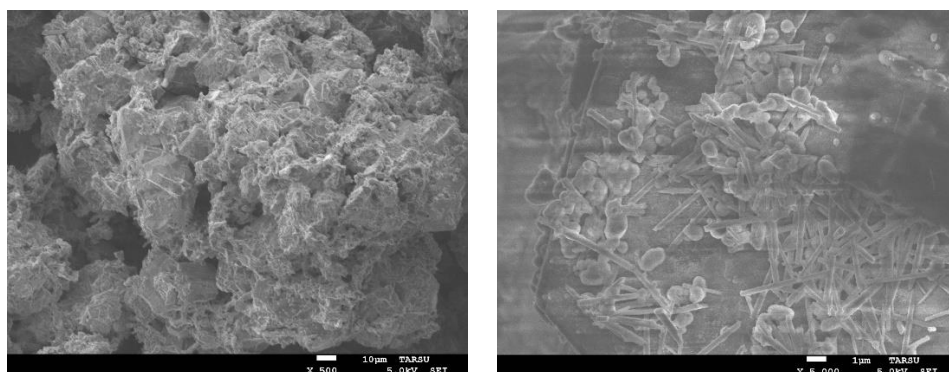


Сурет 1. Металл кешендерінің ИҚ спектрлердегі тербеліс жиіліктері ( $\text{см}^{-1}$ )

Осылайша, алынған ИҚ спектрі негізінде катализаторда белгілі функционалдық топтар мен фазалардың болуы немесе болмауы туралы қорытынды жасауға болады. Co-O және Mo-O үшін сипаттамалық жолақтарды бақылау катализатор құрылымына кобальт пен молибденнің сәтті қосылуын растайды. Егер күтпеген жолақтар анықталса, катализаторды дайындау әдісін кейіннен оңтайландыру үшін маңызды болуы мүмкін синтездің ықтимал қоспалары немесе жанама өнімдері туралы қорытынды жасауға болады.

Ары қарай алынған композиттік материалдардың беттік морфологиясын, бөлшектердің өлшемін және таралуын анықтау үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) қолданылды.

СЭМ мәліметтері бойынша кешендер үлкен кеуекті материал түрінде болып табылады (2а, б-суреттер). Алынған кешендер жоғары кеуектілікке ие және субмикронды кеуектер пайда болған, бұл полимермен тұрақтанған кобальт октаэдрлік кешенінің құрылымдық ерекшеліктерімен байланысты деп түсіндіріледі.



а)

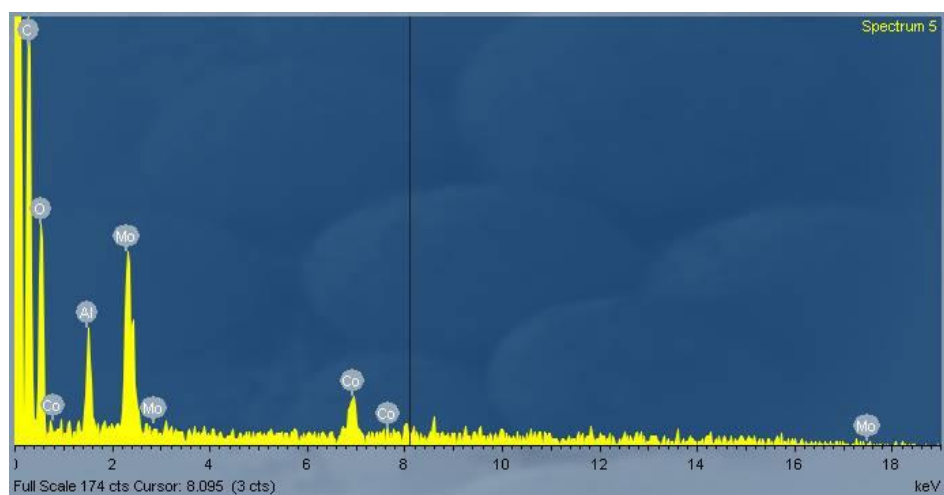
б)

Сурет 2. Әртүрлі ажыратымдылықтағы Co-Mo-ПЭГ/Al(OH)<sub>3</sub> микрофотосуреттері: а – 500; б – 5000

Осылайша, алынған мәліметтер бөлшектердің агломерация дәрежесі және олардың өлшемдері сияқты катализатордың құрылымы мен морфологиясы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Бұл синтез технологиясы мен өңдеу шарттарына байланысты болуы мүмкін.

СЭМ-пен бірге рентгендік микроанализаторды пайдалану алюминий-кобальт-молибден кешенінің микроқұрылымы мен құрамы туралы жан-жақты түсінік алуға мүмкіндік береді, бұл оның тиімділігін бағалау және синтез процесін одан әрі оңтайландыру үшін маңызды қадам болып табылады (3-сурет).

Тотығу дәрежесі әр түрлі молибденнің болуы рентгендік спектрлер арқылы көрсетілген (3-сурет).



Сурет 3. Co-Mo-ПЭГ / Al(OH)<sub>3</sub> рентгендік спектрі

Осылайша, элементтердің таралу карталары алюминий тасымалдаушысының бетінде кобальт пен молибденнің біркелкі таралуын анықтауға көмектеседі. Элементтік құрамдағы жергілікті айырмашылықтар синтез процесінің біртекті еместігін немесе композиттік кешен компоненттерінің өзара әрекеттесуін көрсетуі мүмкін.

**Қорытынды.** Бұл жұмыста алюминий-кобальт-молибден (АКМ) нанобөлшектері синтезделіп, олардың құрылымдық қасиеттері жан-жақты зерттелді. Золь-гель әдісі арқылы синтез әдістерін қолдану әртүрлі морфологиялық сипаттамалары мен бөлшектердің өлшемдері бар нанобөлшектерді алуға мүмкіндік берді, бұл сканерлеу электронды микроскопия (СЭМ) деректерімен расталды. ИҚС талдауы синтезделген нанобөлшектерде болатын функционалдық топтарға және химиялық байланыстарға сәйкес келетін тән жұтылу жолақтарының болуын анықтады. Бұл катализатор құрылымына кобальт пен молибденнің сәтті енгізілуін және олардың алюминий тіреуімен өзара әрекеттесуін растады. Сканерлеуші электронды микроскопия рентгендік микроталдаумен біріктірілген алюминий тасымалдаушысының бетінде белсенді компоненттердің (Со және Мо) біркелкі таралуын көрсетті, бұл белсенді фазалардың жоғары дисперсиясын және демек, жоғары каталитикалық белсенділік потенциалын көрсетеді.

Одан әрі зерттеулер АКМ нанобөлшектерінің каталитикалық қасиеттерін жақсарту үшін құрамы мен синтез шарттарын оңтайландыруға, сондай-ақ оларды нақты өндірістік жағдайларда сынауға бағытталуы мүмкін. Осылайша, әзірленген синтез әдістері мен алынған нәтижелер химия өнеркәсібінде кең қолданыс таба алатын алюминий-кобальт-молибден негізінде тиімді катализаторларды құруға негіз болады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Иванов, П.И. Синтез и свойства наночастиц на основе переходных металлов: обзор литературы [Текст] / П.И. Иванов, А.В. Сидоров, В.В. Петров // Журнал наноматериалов и нанотехнологий. – 2020. – Т. 12, №4. – С. 45-62.
2. Соколова, Н.И. Методы синтеза и свойства кобальт-молибденовых наночастиц [Текст] / Н.И. Соколова, М.В. Кузнецов, С.Г. Романов // Физико-химические исследования. – 2021. – Т.15, №2. – С. 85-96.
3. Zhang L., Wang H., Li Y. Synthesis of alumina-supported Co-Mo nanoparticles for catalytic applications // Journal of Nanomaterials, 2019.
4. Martínez A., Gómez F. Magnetic properties of Co-Mo nanoparticles: A study on size and composition dependence // Materials Science Forum, 2022. Vol. 1024. P. 11-25.
5. Tang Y., Huang X., Li J. Oxidation resistance and catalytic properties of Al-Co-Mo nanoparticles // Catalysis Today, 2021. Vol. 374. P. 142-151.
6. Jones S., Smith K. Environmental impact of nanocatalysts: A review on sustainable synthesis // Green Chemistry, 2020. Vol. 22. P. 712-730.
7. Хомяков, А.В. Современные методы синтеза наночастиц на основе металлов [Текст] / А.В. Хомяков, П.И. Воробьев, Т.Ю. Мартынова // Российский журнал нанотехнологий. – 2022. – Т. 14, №1. – С. 101-114.
8. Niu Y., Li H. Sol-gel synthesis and properties of Co-Mo-based nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science, 2018. Vol. 524. P. 382-390.
9. Sun J., Yang M., Liu G. Microwave synthesis of Co-Mo nanoparticles and their applications // Materials Letters, 2020. Vol. 263. P. 127252.
10. Петрова, М.Н. Исследование магнитных свойств кобальт-молибденовых наночастиц [Текст] / М.Н. Петрова, Е.В. Смирнов // Журнал физики и химии твердого тела. – 2019. – Т.21, №4. – С. 589-597.
11. Kim S., Park J. Catalytic hydrogenation using Co-Mo nanoparticles // Catalysis Communications, 2017. Vol. 98. P. 58-62.
12. Lee H., Kim T. Biomedical applications of Co-Mo nanoparticles: A review // Nano Research. [?]. Vol. 14. P. 1563-1584.

*Материал редакцияға 10.08.24 түсті.*

А.С. Дарменбаева<sup>1</sup>, Б.К. Масалимова<sup>2</sup>, Ж.Б. Мукажанова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,  
г. Петропавловск, Казахстан

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

#### СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты синтеза алюмо-кобальт-молибденовых (АКМ) наночастиц и исследования их структурных и каталитических свойств. Наночастицы были синтезированы методами золь-гель и адсорбционной пропитки, что позволило получить материалы с высокой удельной поверхностью и контролируемой морфологией. Методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) использовались для анализа микроструктуры и химического состава наночастиц. Рентгеновский микроанализ подтвердил равномерное распределение активных компонентов (Со и Мо) на поверхности алюминиевого носителя. Полученные результаты свидетельствуют о высоком каталитическом потенциале АКМ наночастиц, что делает их перспективными материалами для применения в различных промышленных процессах. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию синтеза и тестирование катализаторов в реальных условиях.

**Ключевые слова:** алюминий-кобальт-молибденовые наночастицы, золь-гель метод, сканирующий электронный микроскоп, инфракрасная спектроскопия, рентгеновский микроанализ.

A.S. Darmenbayeva<sup>1</sup>, B.K. Massalimova<sup>2</sup>, Zh.B. Mukazhanova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>M. Kozubayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

<sup>3</sup>S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

#### SYNTHESIS OF ALUMINUM-BASED COMPOSITE MATERIALS AND RESEARCH OF THEIR PROPERTIES

**Abstract.** This paper presents the results of the synthesis of aluminum-cobalt-molybdenum (ACM) nanoparticles and the study of their structural and catalytic properties. The nanoparticles were synthesized by sol-gel and adsorption impregnation methods, which made it possible to obtain materials with a high specific surface area and controlled morphology. Scanning electron microscopy (SEM) and infrared spectroscopy (IR spectroscopy) were used to analyze the microstructure and chemical composition of the nanoparticles. X-ray microanalysis confirmed the uniform distribution of the active components (Co and Mo) on the surface of the aluminum support. The obtained results indicate a high catalytic potential of ACM nanoparticles, which makes them promising materials for use in various industrial processes. Further studies will be aimed at optimizing the synthesis and testing the catalysts under real conditions.

**Keywords:** aluminum-cobalt-molybdenum nanoparticles, sol-gel method, scanning electron microscope, infrared spectroscopy, X-ray microanalysis.

---

**References**

1. Ivanov P.I., Sidorov A.V., Petrov V.V. Sintez i svoystva nanochastits na osnove perekhodnykh metallov: obzor literatury [Synthesis and properties of transition metal-based nanoparticles: a literature review] // Zhurnal nanomaterialov i nanotekhnologiy [Journal of Nanomaterials and Nanotechnology], 2020. Vol. 12, No. 4. P. 45-62, [in Russian].
2. Sokolova N.I., Kuznetsov M.V., Romanov S.G. Metody sinteza i svoystva kobal't-molibdenovykh nanochastits [Synthesis methods and properties of cobalt-molybdenum nanoparticles] // Fiziko-khimicheskiye issledovaniya [Physicochemical Studies], 2021. Vol.15, No. 2. P. 85-96, [in Russian].
3. Zhang L., Wang H., Li Y. Synthesis of alumina-supported Co-Mo nanoparticles for catalytic applications // Journal of Nanomaterials, 2019.
4. Martínez A., Gómez F. Magnetic properties of Co-Mo nanoparticles: A study on size and composition dependence // Materials Science Forum, 2022. Vol. 1024. P. 11-25.
5. Tang Y., Huang X., Li J. Oxidation resistance and catalytic properties of Al-Co-Mo nanoparticles // Catalysis Today, 2021. Vol. 374. P. 142-151.
6. Jones S., Smith K. Environmental impact of nanocatalysts: A review on sustainable synthesis // Green Chemistry, 2020. Vol. 22. P. 712-730.
7. Khomyakov A.V., Vorob'yov P.I., Martynova T.YU. Sovremennyye metody sinteza nanochastits na osnove metallov [Modern methods for the synthesis of metal-based nanoparticles] // Rossiyskiy zhurnal nanotekhnologiy [Russian Journal of Nanotechnology], 2022. Vol. 14, No. 1. P. 101-114, [in Russian].
8. Niu Y., Li H. Sol-gel synthesis and properties of Co-Mo-based nanoparticles // Journal of Colloid and Interface Science, 2018. Vol. 524. P. 382-390.
9. Sun J., Yang M., Liu G. Microwave synthesis of Co-Mo nanoparticles and their applications // Materials Letters, 2020. Vol. 263. P. 127252.
10. Petrova M.N., Smirnov Ye.V. Issledovaniye magnitnykh svoystv kobal't-molibdenovykh nanochastits [Study of magnetic properties of cobalt-molybdenum nanoparticles] // Zhurnal fiziki i khimii tverdogo tela [Journal of Solid State Physics and Chemistry], 2019. Vol.21, No. 4. P. 589-597, [in Russian].
11. Kim S., Park J. Catalytic hydrogenation using Co-Mo nanoparticles // Catalysis Communications, 2017. Vol. 98. P. 58-62.
12. Lee H., Kim T. Biomedical applications of Co-Mo nanoparticles: A review // Nano Research. [?]. Vol. 14. P. 1563-1584.