

STUDY OF THE COMPLEXATION OF COBALT (II) IONS WITH POLYMERS

E.T. Talgatov ^{1*}, A.I. Jumekeyeva ¹, A.B. Ismailova ², A.S. Auezkhanova ¹,
A.A. Naizabayev ^{1,3}, A.Z. Abilmagzhanov ¹

¹ «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

² International Educational Corporation LLP, Almaty, Kazakhstan

³ «Kazakhstan-British Technical University» JSC, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: e.talgatov@ifce.kz

Abstract: *Introduction.* The complex formation of metal ions with polymers is of great interest for the development of new materials used in catalytic processes, sorption, and electrochemistry. Particular attention is given to cobalt (II), which can form complexes with nitrogen- and oxygen-containing polymers such as polyacrylic acid (PAA), polyacrylamide (PAAm), chitosan (Chit), and poly-4-vinylpyridine (P4VP). *The aim* of this study is to investigate the complexation processes of cobalt (II) ions with the functional groups of these polymers, as well as to determine the stability and nature of the resulting complexes. *Results and Discussion.* It has been established that the stability of polymer-metal complexes is determined by the nature of the functional groups of the polymers and the interaction mechanism. PAA-Co complexes demonstrated the highest stability due to the covalent binding of cobalt ions with the carboxyl groups of PAA. At the same time, PAAm-Co and P4VP-Co complexes exhibited lower stability, which is associated with a donor-acceptor interaction mechanism. The shift in the characteristic absorption bands of the functional groups of the polymers upon their interaction with cobalt ions indicates the formation of polymer-metal complexes with different binding mechanisms. For PAAm, the shift in absorption bands confirmed the donor-acceptor interaction mechanism. *Conclusion.* The obtained data confirm the interaction mechanism of cobalt ions with the functional groups of polymers, as well as the different nature of binding. Thus, the results open up prospects for the use of polymer-metal complexes in the creation of materials for catalytic applications.

Keywords: polymer-metal complex, complexation, complex stability, polyacrylic acid, polyacrylamide, chitosan, poly-4-vinylpyridine, cobalt, functional groups.

Talgatov Eldar Talgatovich

PhD, associate professor; E-mail: e.talgatov@ifce.kz

Jumekeyeva Aigul Iembergenovna

Candidate of Chemical Sciences;
E-mail: jumekeeva@mail.ru

Ismailova Aiganym Baktiyarkyzy

PhD; associate professor; E-mail: i-smile@list.ru

Auezkhanova Assemgul Seitkhanovna

Candidate of Chemical Sciences, associate professor;
E-mail: a.assemgul@mail.ru

Naizabayev Akzhol Armanovich

PhD student; e-mail: a.naizabayev@ifce.kz

Abilmagzhanov Arlan Zainutallaevich

Candidate of Chemical Sciences;
E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz

Citation: Talgatov E.T., Jumekeyeva A.I., Ismailova A.B., Auezkhanova A.S., Naizabayev A.A., Abilmagzhanov A.Z. Study of the complexation of cobalt (ii) ions with polymers. *Chem. J. Kaz.*, **2025**, 1(89), 140-149. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-1.2710-1185.14>

КОБАЛЬТ (II) ИОНДАРЫНЫҢ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН КОМПЛЕКС ТҮЗУІН ЗЕРТТЕУ

**Э.Т. Талғатов^{1*}, А.И. Джумекеева¹, А.Б. Исмаилова², А.С. Ауезханова¹,
А.А. Найзабаев^{1,3}, А.З. Абилямгажанов¹**

¹ «Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ,
Алматы, Қазақстан

² «Халықаралық білім беру корпорациясы», Алматы, Қазақстан

³ «Қазақстан-Британ техникалық университеті», Алматы, Қазақстан

*E-mail: e.talgatov@ifce.kz

Түйіндеме: *Kіріспе.* Металл иондарының полимерлермен кешен түзуі каталитикалық процестерде, сорбцияда және электрохимияда қолданылатын жаңа материалдарды әзірлеу үшін үлкен қызығушылық тудырады. Ерекше назар кобальт (II)-ге аударылды, өйткені ол полиакрил қышқылы (ПАК), полиакриламид (ПАА), хитозан (Хит) және поли-4-винилпиридин (П4ВП) сияқты азот және оттегі бар полимерлермен кешендер түзе алады. *Жұмыстың мақсаты* – аталған полимерлердің функционалдық топтарымен кобальт (II) иондарының кешен түзу процестерін зерттеу, сондай-ақ түзілген кешендердің тұрақтылығы мен табиғатын анықтау. *Нәтижелер және талқылаулар.* Полимер-металл кешендерінің тұрақтылығы полимерлердің функционалдық топтарының табиғатына және өзара әрекеттесу механизміне байланысты екені анықталды. ПАК-Со кешендері ең жоғары тұрақтылықты көрсетті, бұл кобальт иондарының ПАК-тың карбоксильді топтарымен коваленттік байланысуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, ПАА-Со және П4ВП-Со кешендері төменірек тұрақтылықпен сипатталды, бұл донор-акцепторлы өзара әрекеттесу механизмімен байланысты. Полимерлердің функционалдық топтарының кобальт иондарымен әрекеттесу кезінде олардың сипаттамалық жұтылу жолақтарының ығысуы әртүрлі байланысу механизмдері бар полимер-металл кешендерінің түзілгенін көрсетеді. ПАА үшін бұл жолақтардың орын ауыстыруы донор-акцепторлы механизмді растайды. *Қорытынды.* Алынған мәліметтер кобальт иондарының полимерлердің функционалдық топтарымен әрекеттесу механизмін, сондай-ақ байланысу табиғатының әртүрлілігін дәлелдейді. Осылайша, алынған нәтижелер полимер-металл кешендерін каталитикалық қолдануға арналған материалдарды жасау перспективаларын ашады.

Түйін сөздер: Полимер-металл комплексі, комплекстүзу, комплекс тұрақтылығы, полиакрил қышқылы, полиакриламид, хитозан, поли-4-винилпиридин, кобальт, функционалдық топтар.

<i>Талғатов Эльдар Талғатұлы</i>	<i>PhD, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Джумекеева Айгуль Нембергеновна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Исмаилова Айганым Бактиярқызы</i>	<i>PhD; қауымдастырылған профессор</i>
<i>Ауезханова Асемгуль Сейтхановна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Найзабаев Ақжол Арманович</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Абилямгажанов Арлан Зайнуталлаевич</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты</i>

1. Кіріспе

Соңғы жылдары қымбат бағалы металдарды алмастыру үшін Mn, Co, Ni, Fe сияқты ауыспалы металдар негізіндегі материалдар белсенді зерттелуде [1, 2]. Олар қайталап пайдалану кезінде өте жақсы каталитикалық белсенділік пен жақсы тұрақтылық көрсетті.

Ауыспалы металдар арасында кобальт катализдің әртүрлі салаларында жиі пайдаланылатын және зерттелетін элементтердің бірі болып табылады [3, 4]. Кобальттың жоғары каталитикалық белсенділігі ең алдымен оның электронды құрылысымен байланысты. Кобальттың d-орбиталда

жұптаспаған үш электроны бар, олар оған оттегі, сутегі, көміртек тотығы, азот тотығы сияқты басқа химиялық заттармен байланыс жасауға мүмкіндік береді [5]. Катализ тиімділігі үшін реагент-катализатор байланысы реагентті адсорбциялау және өнімдерді десорбциялау процестері оңай өтетіндей тым берік те, тым әлсіз де болмауы тиіс. Кобальт (II) иондары олардың тұрақты кешендер түзе алу қабілетінің, каталитикалық қасиеттерінің және тотығу-тотықсыздану процестеріне қатысуының арқасында ерекше қызығушылық тудырады. Бұл ерекшеліктер кобальт кешендерін электрохимиялық құрылғыларға, сорбенттерге және биомиметикалық катализаторларға арналған материалдарды жасауда сұранысқа ие етеді [6, 7].

Органикалық лигандасы бар ауыспалы металдар кешендері металдың жекелеген атомдары органикалық өткізгіш лигандпен кеңістікте бөлінген полимер қаңқаларын жасау үшін кеңінен пайдаланылады [8-10]. Бұл әрбір металл атомын каталитикалық реакцияларда тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Электронодонорлық қасиеттерге ие лиганд металл орталығындағы электрондық тығыздықты арттырады, электрондардың акцептор-заттарын металл орталығымен үйлестіруді жеңілдетеді, қалпына келтіру реакцияларында каталитикалық орталықтың тиімділігін арттырады.

Осыған байланысты, бұл жұмыстың мақсаты хитозан (Хит), полиакриламид (ПАА), полиакрил қышқылы (ПАК) және поли-4-винилпиридин (П4ВП) сияқты полимерлермен кобальт (II) иондарының кешен түзуін, сондай-ақ түзілген кешендердің тұрақтылығы мен табиғатын анықтауға арналған. Полимерлердің таңдалуы олардың құрамында металл иондарын байланыстыруға қабілетті азот және оттегі бар функционалдық топтардың болуымен байланысты. Қолдану аясы – түзілген кобальт (II) иондарының полимерлермен комплексі катализатор ретінде қолданылады.

2. Эксперименттік бөлім

Материалдар мен әдістер.

Кобальт (II) хлоридінің гексагидраты (99%, Guangzhou Jinhua Chemical Reagent Co., Ltd, Қытай), поли-4-винилпиридин (П4ВП, Mw = 65000, Sigma-Aldrich, АҚШ), полиакрил қышқылы (ПАК, Mw = 450 000, Sigma-Aldrich, АҚШ), полиакриламид (ПАА, Mw = 500 000, Himedia, Үндістан), хитозан (Хит, деацетилдеу дәрежесі - 85%, Mw = 250 000, Sigma-Aldrich, АҚШ). Полимерлердің құрылымдық формулалары келесі кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Полимерлердің құрылымдық формулалары

Полимерлер	Формула
1	2
Полиакриламид (ПАА)	
Полиакрил қышқылы (ПАК)	
Поли-4-винилпирридин (П4ВП)	
Хитозан	

Жұмыс ерітінділерін дайындау.

0,1 М полимердің ерітіндісін дайындау үшін 0.71 г ПАА (полиакриламид) немесе 0.72 ПАК (полиакрил қышқылы) алынды және 100 мл тазартылған суда 1.5 сағат бойы 40 °С температурада магнитті араластырғышта араластыру арқылы ерітілді. Хитозан (Хит, 1.67 г) сол жағдайда 100 мл 1% тұз қышқылында ерітілді. Поли-4-винилпирридин (П4ВП, 1.05 г) бөлме температурасында 100 мл этил спиртінде ерітілді. Кобальт тұзының (0.1 М) жұмыс ерітіндісін дайындау үшін 2.3784 г кобальт хлоридінің гексагидраты 100 мл суда ерітілді.

Полимерлермен кобальт (II) иондарының кешенді түзілуін зерттеу

Алынатын кешендердің диссоциациясы ескерілетін (1 және 2) теңдеуді пайдалана отырып, [11] жұмыста сипатталған әдістеме бойынша полимер-металл кешендерінің құрамы мен тұрақтылығы анықталды:

$$\beta_a = \frac{1}{[M]\{[L]_0 - n([M]_0 - [M])\}^n} \quad (1)$$

немесе

$$\lg \beta_a = -\lg[M] \{[L]_0 - n[M]_{\text{байланыс.}}\}^n \quad (2)$$

Металл иондары $[M]_{0i}$ мен полимер лигандының $[L]_{0i}$ бастапқы концентрациясының мәндерін біле отырып және металл иондарының тепе-тең шоғырлануын анықтап, $\lg \beta_{ai} = f(n_i)$ тәуелділік қисықтарының сериясын аламыз. Екі қисықтың қиылысу нүктесі $\lg \beta_{ai}$ және n_i екі белгісізі бар теңдеудің шешімі болып табылады. Қисықтарды жұбымен тарата отырып, $\overline{\lg \beta_a}$ және \bar{n} орташа мәндерін алуға болатын (2) теңдеудің шешімдері болып табылатын қиылысу нүктелерінің сериясын аламыз.

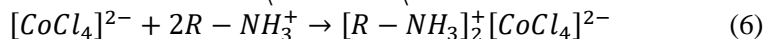
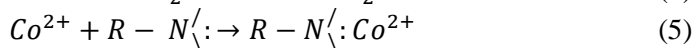
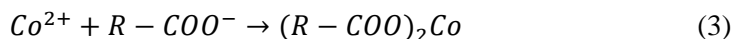
Кобальттың (II) полимерлермен (ПАК, ПАА, Хит, П4ВП) кешендерінің құрамы мен тұрақтылығын анықтау әдістемесі полимер ерітінділері мен

металл тұзын ($[\text{CoCl}_4]^{2-}$) араластыруды, реакцияны аяқтау үшін алынған ерітінділерді 3 сағат ішінде араластыруды, полимер-металл кешенін тұндыруды, ерітіндідегі металл ионының тепе-теңдік шоғырлануын өлшеуді және $\lg \beta_{ai} = f(n_i)$ тәуелділік қисықтарының сериясын құруды қамтыды. $\lg \beta_{ai} = f(n_i)$ тәуелділік қисықтарының сериясын алу үшін полимерлердің ерітінділерін кобальт (II) иондарымен араластыруды жүзеге асыру үшін полимерлік лигандтардың (0.01-0.025 моль/л) және металл иондарының (0.001-0.05 моль/л) әртүрлі бастапқы концентрацияларымен ерітінділер алынды. Металл иондарының тепе-теңдік шоғырлануы СФ-2000 спектрофотометрінде анықталды.

Кобальт (II) иондарының полимерлердің функционалдық топтарымен өзара әрекеттесуі ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттелді. Үлгілердің ИҚ-Фурье спектрлері $4000-400 \text{ см}^{-1}$ жиілік аралығында Nicolet iS5 (Thermo Scientific, АҚШ) ИҚ-спектрометрінде КВг таблеткалар түрінде жазылған.

3. Нәтижелер және талқылау

Кобальттың полимер-металл кешендерін зерттеу кезінде полимерлердің химиялық құрылымы ескерілді. Мысалы, кобальт иондары (Co^{2+}) полиакрил қышқылының карбоксил тобымен (R-COO^-) ковалентті байланыс түзе отырып өзара әрекеттесуге қабілетті (3-теңдеу). Полиакриламидте (R-CONH_2) ацетамид тобының және поли-4-винилпирридинде ($\text{R-N} \langle \cdot \rangle$) пиридин сақинасының азотының болуы донорлық-акцепторлық механизм (4 және 5 теңдеулер) бойынша өзара әрекеттесуді қамтамасыз етуі мүмкін. Хитозан жағдайында жиынтық тұз (6 теңдеу) пайда болуы мүмкін, мұнда хитозанның қышқыл ортада еруі нәтижесінде пайда болатын хитозанияның макрокатионы (R-NH_3^+) кешеннің сыртқы сферасында бола отырып, иондық байланыс бойынша кобальттың кешенді анионымен ($[\text{CoCl}_4]^{2-}$) өзара әрекеттесу жасайды.

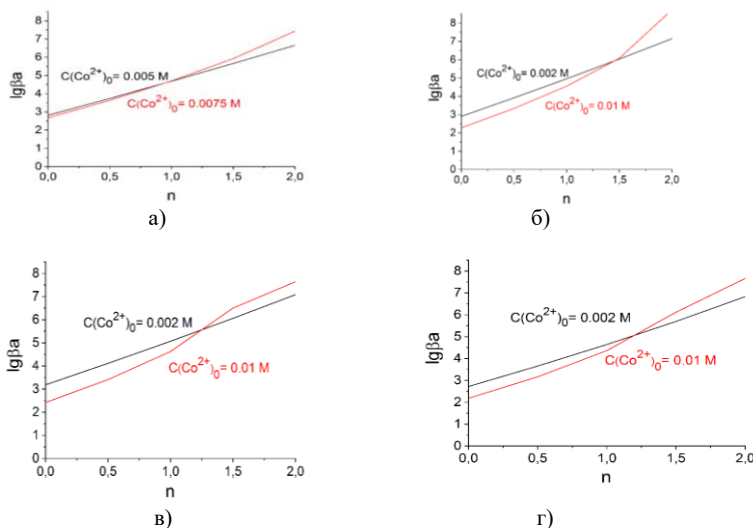


Полимерлер мен кобальт (II) иондары арасындағы өзара әрекеттесуді зерттеу пайда болатын полимер-металл кешендерінің (ПМК) үйлестіру параметрлерін (құрамы мен тұрақтылығын) анықтауды және оларды ИҚ-спектроскопия әдісімен сипаттауды қамтиды.

ПМК үйлестіру параметрлерін анықтау үшін [11] әдістемесіне сәйкес кешеннің толық шөгуі жағдайында металл иондарының тепе-теңдік шоғырлануын өлшеу қажет. Осыған байланысты металдың тепе-теңдік шоғырлануын өлшеу алдында кешендер ацетонмен тұндырылды. Кешендерді П4ВП негізінде зерттеген жағдайда тұндыру сумен жүргізілді.

Алынған тепе-теңдік шоғырланулардың мәндерін 2-тендеуге қоя отырып, $\lg \beta_{ai} = f(n_i)$ тәуелділік қисықтарының сериясын, сондай-ақ зерттелетін кешендер үшін орташа мәндерді ($\lg \beta_a$ және n_i) алатын олардың қиылысу нүктелерінің сериясы $\overline{\lg \beta_a}$ және \bar{n} алынды.

Байланыстырудың (\bar{n}) және тұрақтылықтың ($\overline{\lg \beta_a}$) шартты константаларының алынған орташа мәндері ПАА-Со, ПАК-Со, Хит-Со және П4ВП-Со жүйелері үшін сәйкесінше: $\bar{n}=0.95\pm 0.07$; 1.45 ± 0.05 ; 1.25 ± 0.06 ; 1.13 ± 0.05 ; $\overline{\lg \beta_a}=4.58\pm 0.17$; 5.94 ± 0.10 ; 5.56 ± 0.20 ; 5.03 ± 0.14 құрады (сурет 1).



Сурет 1 – Өзара әрекеттескен кездегі $\lg \beta_a$ және n арасындағы тәуелділік: (а) полиакриламидтің (0.015 M) Co^{2+} -пен (0.005 және 0.0075 M), (б) полиакрил қышқылының (0.01 M) Co^{2+} -пен (0.002 және 0.01M), (в) хитозанның (0.025 M) Co^{2+} -пен (0.002 және 0.01 M) және (г) поли-4-винилпиридиннің (0.01 M) Co^{2+} -пен (0.002 және 0.01 M)

Кобальттың (II) полимер-металл кешендері үшін байланыстыру константаларының мәндері бүтін емес мәндерге ие болды (кесте 2). Мүмкін, металдың үйлесу сферасы ПМК пайда болу кезіндегі стерикалық қиындықтарға байланысты полимер лигандының донорлық топтарымен толық қанықпайды: функционалдық топтардың бір-бірінен кеңістік жағынан алшақтығынан және макромолекула тізбектерінің қозғалысының шектеулігінен.

Кесте 2 – Кобальт (II) кешендерінің полимерлермен үйлесу параметрлері

Полимерлер	Шартты байланысу константасы (n)	Кешеннің тұрақтылығы ($\lg \beta_a$)
ПАА	0.95 ± 0.07	4.58 ± 0.17
ПАК	1.45 ± 0.05	5.94 ± 0.10
Хит	1.25 ± 0.06	5.56 ± 0.20

П4ВП	1.13 ± 0.05	5.03 ± 0.14
------	-------------	-------------

Полимердің табиғатына байланысты кобальттің (II) ПМК тұрақтылықтың төмендеуі бойынша мынадай тәртіппен орналасады: ПАК-Со > Хит-Со > П4ВП-Со > ПАА-Со (кесте 2). ПАК-Со кешені неғұрлым орнықтылықты көрсетті, бұл кобальт иондарының полимердің карбоксильді тобымен ковалентті түрде берік байланыс құруы әсерінен болуы мүмкін (теңдеу 3). Ең аз тұрақтылықты ПАА-Со және П4ВП-Со кешендері көрсетті. Бұл осы жүйелердегі кешеннің пайда болуын ПАА-ның электронодонорлы ацетоамидтік тобы мен П4ВП пиридиндік тобының кобальт иондарымен өзара әрекеттесуі арқылы донорлық-акцепторлық механизм бойынша өтетіндігімен түсіндіруге болады (теңдеулер 4, 5). Хит-Со кешені ПАА-Со және П4ВП-Со-ға қарағанда неғұрлым орнықтылық танытты, мұны тетрахлокобальтат(II)-анионның иондық байланыс түрі (теңдеу 6) бойынша хитозанның протонирленген амин топтарымен байланысуымен түсіндіруге болады.

Полимерлердің металл иондарымен өзара әрекеттесуінің болжамды механизмдерін растау үшін алынған ПМК ИҚ-спектроскопияның көмегімен зерттелді (кесте 3). Салыстыру үшін бастапқы полимерлердің ИҚ-спектрлері алынды.

Кесте 3 –Зерттелетін үлгілердің ИҚ спектрлерінің деректері

Үлгі	Полимерлердің функционалды топтарының жұтылу жолақтары			
	-CONH ₂ (ПАА)	-COOH, -COO ⁻ (ПАК)	-NH ₂ (Хит)	C-N, C=C (П4ВП)
1	2	3	4	5
ПАА	1656 1630	-	-	-
ПАА-Со	1611	-	-	-
ПАК	-	1714	-	-
ПАК-Со	-	1701 1613	-	-
Хит	-	-	1660 1559	-
Хит қышкылдан.	-	-	1637 1532	-
Хит-Со	-	-	1628 1559 1502	-
П4ВП	-	-	-	1600 1562 1495 1419
П4ВП-Со	-	-	-	1606 1508 1428

ПАА металл иондарымен әрекеттесуге қабілетті полимердің ацетамид

тобына (-CONH₂) жататын 1656 (C=O) және 1630 см⁻¹ (NH₂) [12, 13] сипаттамалық жолақтарды көрсетеді. ПАА-Со ИҚ-спектріндегі -C=O және -NH топтарының жұтылу жолақтарын ПАА-дағы сол жолақтармен салыстырғанда жылжуы донорлық-акцепторлық механизм бойынша полимер-металл кешенінің қалыптасуын растайды (кесте 3).

ПАК ИҚ-спектрі полимердің карбоксилді тобының (-COOH) валенттік тербелістеріне жататын 1714 см⁻¹ кезінде жұтылу сипатына тән жолақты көрсетті. Сонымен қатар, ПАК-Со үлгісінің спектрлерінде полиакрил қышқылының тұздарына тән карбоксилат-ионға (-COO-) жатқызуға болатын 1600-1750 см⁻¹ аумағында жаңа шыңдардың пайда болуы байқалды [14] (кесте 3). Осылайша, зерттелетін үлгілердің спектрлерінде байқалатын өзгерістер ПАК -COOH топтарының кобальт иондарымен өзара әрекеттескенін көрсетеді.

Хитозанның ИҚ-спектрінде C=O тобының (I амид) валенттік тербелістеріне және N-H тобының (II амид) ішкі жазықтық деформациялық тербелістеріне жататын жолақтар сәйкесінше 1660 см⁻¹ және 1559 см⁻¹ кезінде байқалады [15]. Хитозанның HCl сұйытылған ерітіндісінде еруі оң зарядталған суда еритін катионды полиэлектролит құра отырып, аминтоптарын протондауға әкеледі, бұл ретте 1559 см⁻¹ кезінде -NH-топтың тербеліс жолағы неғұрлым төмен жиіліктерге қарай жылжиды. Хитозан топтарының C=O және N-H сіңіру жолақтарының одан әрі ығысуы иондық байланыс түрі бойынша (кесте 3) металдың кешенді анионымен ([CoCl₄]²⁻) оң зарядталған полимердің аминтоптарының (-NH₃⁺) өзара әрекеттесуін куәландырады.

П4ВП спектрінде 1600, 1562, 1495, 1419 см⁻¹ кезінде пиридин сақинасына (C=C, C-N) тән тербеліс жолақтары анықталды [16]. C-N (1600 см⁻¹-ден 1603 см⁻¹-ге дейін) және C=C (1495 см⁻¹-ден 1505 см⁻¹-ге дейін) сіңіру жолақтарының ығысуы пиридинді П4ВП тобының металл иондарымен өзара үйлесімді әрекеттесуін және полимер-металл кешенінің пайда болуын көрсетеді (кесте 3).

4. Қорытынды

Осылайша, жоғары тұрақтылықты ПАК-Со кешені көрсетті, бұл полимердің карбоксилді тобы мен кобальт иондары арасында берік ковалентті байланыстың қалыптасуымен түсіндіріледі. Керісінше, ПАА мен П4ВП негізіндегі кешендер стерикалық шектеулер мен өзара донорлық-акцепторлық механизммен әрекеттесудің салдарынан тұрақтылықтың төмендеуімен сипатталды. Протондалған аминтоптарының қатысуымен кешенді тұздың пайда болуы арқасында Хит аралық тұрақтылықты қамтамасыз етті. Кобальт иондарының кешенді түзілуін зерттеу полимер-металл кешендерінің тұрақтылығы полимердің табиғатына және өзара әрекеттесу түріне байланысты екенін көрсетті.

ИҚ-спектроскопияны қолдану өзара әрекеттесу механизмдерін растауға және кешен түзілу кезіндегі полимерлер құрылымындағы өзгерістерді

айқындауға мүмкіндік берді. Осыған орай, жүргізілген зерттеу металл иондарының полимерлермен өзара әрекеттесу заңдылықтарын түсінуге үлес қосты, бұл берілген қасиеттері бар функционалдық материалдарды одан әрі дамыту үшін негіз бола алады.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыруы бойынша орындалды (грант №BR24992995).

Мүдделер қақтығысы: авторлар арасында мүдделер қақтығысы жоқ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ИОНОВ КОБАЛЬТА (II) С ПОЛИМЕРАМИ

Э.Т. Талгатов^{1*}, А.И. Джумекеева¹, А.Б. Исмаилова², А.С. Ауезханова¹,
А.А. Найзабаев^{1,3}, А.З. Абильмагжанов¹

¹АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

²ТОО «Международная образовательная корпорация», Алматы, Казахстан

³АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан.

*E-mail: e.talgatov@ifce.kz

Резюме: Введение. Комплексообразование ионов металлов с полимерами представляет значительный интерес для разработки новых материалов, применяемых в каталитических процессах, сорбции и электрохимии. Особое внимание уделено кобальту (II), который может образовывать комплексы с азот- и кислородсодержащими полимерами, такими как полиакриловая кислота (ПАК), полиакриламид (ПАА), хитозан (Хит) и поли-4-винилпиридин (П4ВП). Целью работы является исследование процессов комплексообразования ионов кобальта (II) с функциональными группами указанных полимеров, а также определение устойчивости и природы образующихся комплексов. Результаты и обсуждения. Установлено, что устойчивость полимер-металлических комплексов определяется природой функциональных групп полимеров и механизмом взаимодействия. Комплексы ПАК-Со показали наибольшую устойчивость за счет ковалентного связывания ионов кобальта карбоксильными группами ПАК. В то же время, комплексы ПАА-Со и П4ВП-Со характеризовались меньшей устойчивостью, что связано с донорно-акцепторным механизмом взаимодействия. Смещение характеристических полос поглощения функциональных групп полимеров при их взаимодействии с ионами кобальта свидетельствуют об образовании полимер-металлических комплексов с различными механизмами связывания. Для ПАА наблюдалось смещение полос поглощения, подтверждающее донорно-акцепторный механизм взаимодействия. Заключение. Полученные данные подтверждают механизм взаимодействия ионов кобальта с функциональными группами полимеров, а также разную природу связывания. Таким образом полученные результаты открывают перспективы использования полимер-металлических комплексов в создании материалов для каталитических применений.

Ключевые слова: полимер-металлический комплекс, комплексообразование, устойчивость комплекса, полиакриловая кислота, полиакриламид, хитозан, поли-4-винилпиридин, кобальт, функциональные группы.

Талгатов Эльдар Талгатұлы	PhD, ассоциированный профессор
Джумекеева Айгуль Иембергеновна	кандидат химических наук
Исмаилова Айсаным Бактиярқызы	PhD; ассоциированный профессор
Ауезханова Асемгуль Сейтхановна	кандидат химических наук, ассоциированный профессор
Найзабаев Ақжол Арманович	PhD докторант

References

1. Suraj G., Rohan F., Rupali P., Matjaž S., Nainesh P. A review of cobalt-based catalysts for sustainable energy and environmental applications. *Applied Catalysis A, General*, **2023**, 661, 119254. DOI: 10.1016/j.apcata.2023.119254.
2. Xuetao L., Guangling H., Heng L., Yanlin Zh., Jiamin X., Lei H. Boron-doped cobalt-iron bimetal phosphides nanosheets for enhanced oxygen evolution. *J. Alloys. Compd.*, **2022**, 893, 162208. DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.162208.
3. Weiwei X., Jianhao H., Liting H., Shipeng G., Shuqin S., Panagiotis T., Yi W. Novel fluorine-doped cobalt molybdate nanosheets with enriched oxygen-vacancies for improved oxygen evolution reaction activity. *Appl. Catal. B*, **2022**, 303, 120871. DOI:10.1016/j.apcatb.2021.120871.
4. Xueying F., Shang Ch., Wenbin G., Xiaodong M., Yuncan J., Yulin W., Song H., Lei Zh., Lirong Zh., Christopher W.B., Jianxin G. A Conjugated Porous Polymer Complexed with a Single-Atom Cobalt Catalyst as An Electrocatalytic Sulfur Host for Enhancing Cathode Reaction Kinetics. *Energy Storage Mater*, **2021**, 41, 14-23. DOI: 10.1016/j.ensm.2021.05.043.
5. Novozhilova M., Smirnova E., Polozhentseva J., Danilova J., Chepurnaya I., Karushev M., Malev V., Timonov A. Multielectron redox processes in polymeric cobalt complexes with N₂O₂ Schiff base ligands. *Electrochim. Acta*, **2018**, 282, 105-115. DOI: 10.1016/j.electacta.2018.06.030.
6. Qiuyue Zh., Zilong L., Mingyang H., Junfeng X., Gregory A., Yanping M., Tongling L., Wen-Hua S. Fluorinated cobalt catalysts and their use in forming narrowly dispersed polyethylene waxes of high linearity and incorporating vinyl functionality. *Catal. Sci. Technol.*, **2021**, **11**, 656-670. DOI: 10.1039/D0CY01917H.
7. Grzegorz K., Jan P., Mirosław G. Characteristics of Polyaniline Cobalt Supported Catalysts for Epoxidation Reactions. *The Scientific World Journal*, **2014**, 9. DOI: 10.1155/2014/648949.
8. Zitolo A., Ranjbar-Sahraie N., Mineva T., Jingkun L., Li Q., Jia Q., Stamatina S., Harrington G., Mathew S., Krtil P., Mukerjee S., Fonda E., Jaouen F. Identification of catalytic sites in cobalt-nitrogen-carbon materials for the oxygen reduction reaction. *Nat. Commun*, **2017**, 8, 957, DOI: 10.1038/s41467-017-01100-7.
9. Ayeong B., Won Ch., Jong M., Jae W. Non-precious Metal Catalysts for Two-Electron Oxygen Reduction Reaction. *ChemElectroChem.*, **2023**, 10, 2-17, DOI: 10.1002/celec.202300234.
10. Zharmagambetova A. K., Auyezkhanova A. S., Talgatov É. T. Metal-Polymer Catalysts in Liquid-Phase Processes [in Russian], *D. V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty*, **2018**, -232 p.
11. Haiyan M., Yuguang L., Hong Y., Qiang L., Minghao R., Xubi G., Ying G., Yinfeng L. Determination of Coordination Parameters of Cd²⁺ and Zn²⁺ with Polyvinyl Alcohol and Chitosan. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, **2011**, 50, 132-143, DOI: 10.1080/00222341003648623.
12. Gaabour, L.H. Spectroscopic and thermal analysis of polyacrylamide/chitosan (PAM/CS) blend loaded by gold nanoparticles. *Results in Physics*, **2017**, 7, 2153-2158, DOI: 10.1016/j.rinp.2017.06.027.
13. Deng Y., Dixon J.B., White G.N., Loeppert R.H., Juo A.S.R. Bonding between polyacrylamide and smectite. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **2006**, 281, 82-91, DOI: 10.1016/j.colsurfa.2006.02.03.
14. Cukrowicz S., Sitarz M., Kornaus K., Kaczmarek K., Bobrowski A., Gubernat A., Grabowska B. Organobentonites Modified with Poly(Acrylic Acid) and Its Sodium Salt for Foundry Applications. *Materials*, **2021**, 14, 1947, DOI: 10.3390/ma14081947.
15. Liu Q., Xu M., Wang Y., Feng R., Yang Z., Zuo S., Qi C., Zeng M. Co-immobilization of Pd and Zn nanoparticles in chitosan/silica membranes for efficient, recyclable catalysts used in ullmann reaction. *International Journal of Biological Macromolecules*, **2017**, 105, 575-583, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.07.081.
16. Wu L., Pang T., Wu L., Guan Y., Yin L. In situ synthesis of the Fe₃O₄@poly(4-vinylpyridine)-block-polystyrene magnetic polymer nanocomposites via dispersion RAFT polymerization. *Nanocomposites*, **2022**, 8, 227-237, DOI: 10.1080/20550324.2023.2170003.