

FLOCCULATING AND BIOCIDAL PROPERTIES OF COPOLYMER OF N,N-DIMETHYL-N,N-DIALLYL AMMONIUM CHLORIDE WITH N,N-DIMETHYLAMINOPROPYL METHACRYLAMIDE

*B.Ye. Orynbayev, M.B. Zhurumbayeva, N.Zh. Seitkaliyeva, K.Zh. Abdiyev**

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

**E-mail: k.abdiyev@satbayev.university*

Abstract. *Introduction.* Nowadays, pollution of water reservoirs with harmful industrial waste is considered one of the urgent problems. Poly surfactants (flocculants) are usually used to clean industrial wastewater from harmful impurities. However, currently known flocculants do not meet the requirements for them. The main reason for this is the high cost of monomers or the complexity of flocculant synthesis methods. Microbiological corrosion (biocorrosion) of metal and reinforced concrete structures is still an unresolved issue. In this regard, synthesis of new effective flocculants with biocidal properties is considered one of the urgent problems. *The purpose* of this work is synthesis and studying of the flocculation and biocidal properties of the copolymer of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride with N,N-dimethylaminopropyl methacrylamide (DMAACh-DMAPMA). The methodology of the work is to synthesize a new effective poly-surfactant with flocculating and biocidal effect on the basis of industrial monomers available by the radical copolymerization method and to determine its properties by modern methods. *Results and discussion.* The effect of molar composition and the ionic strength of the medium on the flocculation and biocidal properties of the copolymer DMAACh-DMAPMA was studied. It has been proven that copolymer DMAACh-DMAPMA, synthesized from a mixture of monomers with molar composition 50:50 mol. %, shows the highest flocculation properties in relation to the dispersed particles of bentonite clay. The presence of salt (0.01 wt.% NaCl) in the media increases the flocculation properties of the copolymer. It was found that DMAACh-DMAPMA copolymers have also biocidal properties and can be used as a biocidal compound to inhibit the growth of sulfate-reducing bacteria (SRB). The optimal concentration is 0.01÷0.05 mas. %.

Keywords: copolymerization, flocculant, water treatment, biocide, microbiological corrosion

Orynbayev Baurzhan

Master of Chemical Technology of Organic Substance.

E-mail: baurzhan.orynbayev@gmail.com

Zhurumbayeva Mariyamkul

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor.

E-mail: m.zhurumbayeva@satbayev.university

Seitkaliyeva Nurgul

Candidate of Chemical Sciences. E-mail: nur76_07@mail.ru

Abdiyev Kaldibek

Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor.

E-mail: k.abdiyev@satbayev.university

Citation: Orynbayev B.Ye., Zhurumbayeva M.B., Seitkaliyeva N.Zh., Abdiyev K.Zh. Flocculation and biocidal properties of copolymer of N,N-dimethyl-N,N-diallyl ammonium chloride with N,N-dimethylaminopropyl methacrylamide. *Chem. J. Kaz.*, 2023, 3(83), 5-14. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-3.2710-1185.23>

N,N-ДИМЕТИЛ-N,N-ДИАЛЛИЛ АММОНИЙ ХЛОРИДІНІҢ N,N-ДИМЕТИЛАМИНОПРОПИЛ МЕТАКРИЛАМИДПЕН СОПОЛИМЕРІНІҢ ФЛОКУЛЯЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ БИОЦИДТІК ҚАСИЕТТЕРІ

Б.Е. Орынбаев, М.Б. Жүрсімбаева, Н.Ж. Сейтқалиева, Қ.Ж. Әбдиев*

Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

*E-mail: k.abdiyev@satbayev.university

Түйіндемe. *Кіріспе.* Қазіргі таңда су қоймаларының зиянды өндірістік қалдықтарымен ластануы өзекті мәселелердің бірі болып саналуда. Өндірістік ағын суларды зиянды қоспалардан тазарту үшін әдетте полимерлік беттік-активті заттарды (поли-БАЗ) – флокулянттарды қолданады. Дегенмен, қазіргі белгілі флокулянттар оларға қойылатын талаптарға сай келе бермейді Мұның басты себебі мономерлер құнының жоғары болуы немесе флокулянттар синтездеу әдістерінің күрделілігі. Тағы да бір шешімін таппаған өзекті мәселе – ол металл және темірбетон құрылымдарының микробиологиялық коррозиясы (биокоррозия). Осы орайда бойында биоцидтік қасиеті бар жаңа тиімді флокулянттар синтездеу өзекті мәселелердің бірі болып саналады. Аталмыш жұмыстың мақсаты жаңа поли-БАЗ-дың – N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлоридінің N,N-диметиламинопропил метакриламидпен (ДМДААХ–ДМАПМА) сополимерінің флокуляциялық және биоцидтік қасиеттерін зерттеу. Жұмыстың әдістемесі - радикалдық сополимеризация әдісі арқылы қолжетімді өндірістік мономерлер негізінде бойында флокуляциялық және биоцидтік әсері бар жаңа тиімді поли-БАЗ синтездеу және оның қасиеттерін заманауи әдістермен анықтау. *Нәтижелер және талқылау.* ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық және биоцидтік қасиеттеріне оның мольдік құрамы мен ортаның иондық күшінің әсері зерттелді. Мольдік құрамы 50:50 мол. % болып келетін мономерлер қоспасынан синтезделген ДМДААХ–ДМАПМА сополимері бентонит сазбалшығы дисперстік бөлшектеріне қатысты ең жоғары флокуляциялық қасиет көрсететіндігі дәлелденді. Суспензия құрамында тұздың (0,01 мас. % NaCl) болуы сополимердің флокуляциялық қасиетін арттыра түседі. ДМДААХ–ДМАПМА сополимер-леріне биоцидтік қасиет тән сондықтан оны сульфатотықсыздандырғыш бактериялардың (СТБ) өсуін тежейтін биоцидтік қосылыс ретінде қолдануға болатындығы анықталды. Сонда оңтайлы концентрация 0.01÷0.05 мас. % саналады.

Түйінді сөздер: сополимеризация, флокулянт, суды тазарту, биоцид, микробиологиялық коррозия

<i>Орынбаев Бауыржан Елтайұлы</i>	<i>магистр</i>
<i>Жүрсімбаева Мариякүл Бұрқанқызы</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, доценті</i>
<i>Сейтқалиева Нұрғұл</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Жарылқағанқызы</i>	
<i>Әбдиев Қалдыбек Жамшайұлы</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, доцент, профессор</i>

1. Кіріспе

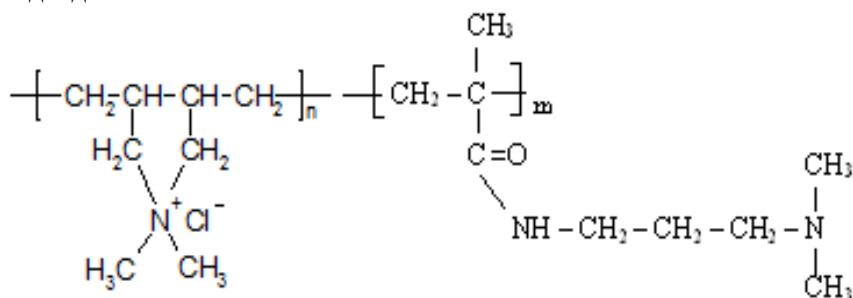
Алуан түрлілігіне қарамастан [1-3], көптеген флокулянттарды өндірістік масштабта пайдалану шектелген. Оның басты себебі, бастапқы шикізат (мономер) синтезінің және (со)полимеризация реакциясының күрделілігі, өнімнің өзіндік құнының жоғары немесе флокулянттың беттік және биоцидтік қасиеттерінің төмен болуы. Бұның өзі ағын суларды тазарту технологиясын жетілдіруге және жаңа тиімді флокулянттар синтездеуге итермелейді. Демек, бойында флокуляциялық қана емес, сонымен бірге биоцидтік қасиеті де бар поли-БАЗ синтездеу *өзекті міндеттердің* бірі болып саналады.

Бұл жұмыстың мақсаты жаңа поли-БАЗ – N,N-диметил-N,N-диаллил-аммоний хлоридінің N,N-диметиламинопропил метакриламидпен (ДМДААХ-ДМАПМА) сополимерінің флокуляциялық және биоцидтік қасиеттерін зерттеу.

2. Тәжірибелік бөлім

2.1. ДМДААХ-ДМАПМА сополимерін синтездеу

ДМДААХ-ДМАПМА сополимері сулы ортада мономерлердің әртүрлі мольдік қатынасын 343 К температурада инициатор (аммоний персульфаты $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) қатысында радикалдық сополимеризациялау әдісі арқылы синтезделді.



Синтездеу және тазарту әдістері, синтезделген сополимерлердің құрамын анықтау нәтижелері [4] келтірілген. Сополимерлердің құрамы ИҚ - және ЯМР-спектроскопия, элементтік талдау және кондуктометриялық титрлеу әдістері арқылы анықталды. Талдау нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Үлгілерді элементтік талдау және ДМДААХ–ДМАПМА сополимер ерітінділерін кондуктометриялық титрлеу нәтижелері [4].

Бастапқы қоспадағы мономерлердің құрамы, мол. % [ДМАПМА]:[ДМДААХ]	Элементтік талдау нәтижелері бойынша сополимер құрамы, мол. % [ДМАПМА]:[ДМДААХ]			Кондуктометриялық титрлеу нәтижелері бойынша сополимер құрамы, мол. %, [ДМАПМА]:[ДМДААХ]
	N	C	H	
30:70	42:58	43:57	41:59	45:55
50:50	64:36	63:37	64:36	64:36
65:35	77:23	75:25	76:24	76:24
80:20	93:07	94:06	93:07	95:05

2.2. Зерттеу әдістері

Сополимерлердің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу

ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу үшін Погадаев кен орнының (Батыс Қазақстан облысы, Қазақстан Республикасы) бентонитті сазбалшығы таңдап алынды. Балшық диірменде 330 айн/мин жылдамдықпен 10 минут бойы ұнтақталды. Әрі қарай ұнтақ тесігінің диаметрі 0.2 мм-ден аспайтын електен өткізіліп, содан кейін сазға дистилденген судың қажетті мөлшері қосылды және саздың толық ісінуі үшін суспензия 24 сағатқа қалдырылды.

Погадаев кен орнының саз балшығы отқа төзімді қасиеттері бойынша жеңіл балқымаға, Fe_2O_3 құрамы бойынша бояғыш оксидтері жоғары саздарға, ал Al_2O_3 құрамы бойынша қышқыл шикізат тобына жатады (2-кесте).

Кесте 2 - Погадаев кен орнының бентонитті саз балшығының химия-лық құрамы (Батыс Қазақстан облысы, Қазақстан Республикасы)

Шикізаттың атауы	Оксидтердің құрамы, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	п.п.п
Погадаев кен орны	61.5	17.01	2.201	3.24	6.344	1.32	3.6	6

Суспензияны тұндыру процесінің ұзақтығы бөлшектердің шөгу жылдамдығына байланысты. Дисперстік фаза бөлшектерінің флокуляция дәрежесі, яғни судың бөлшектерден тазару дәрежесі жүйенің оптикалық тығыздығы (D) және тұнған шөгіндінің массасы арқылы анықталды [5]. Оптикалық тығыздық КФК-3-01 спектрофотометрінде 740 нм толқын ұзындығында өлшенді. Ерітінділердің оптикалық тығыздығын өлшеудің салыстырмалы қателігі 2% - дан аспады. Зерттеу үшін алдын-ала бентонит сазының судағы 0.5 мас. % суспензиясы дайындалды.

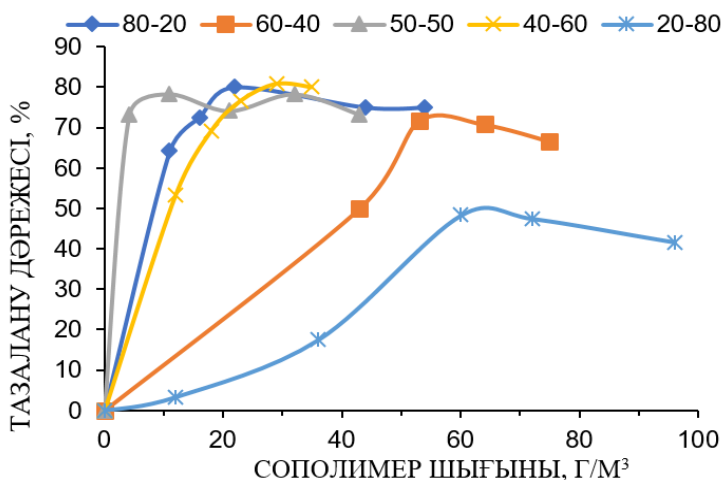
2.3. Сополимерлердің биоцидтік қасиеттерін зерттеу

Сульфат тотықсыздандырғыш бактериялардың (СТБ) өсуін тежеу үшін мольдік құрамы әртүрлі ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің биоцидтік қасиеттерін зерттеу ҚР ҒжЖБМ-ң "Микробиология және вирусология ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС-де (Алматы қ.) жүргізілді. Ол үшін тәжірибелік түтіктерге 1 мл СТБ дақылдық сұйықтығы енгізіліп, оған құрамында сополимердің тиісті концентрациясы бар коректік орта қосылды.

3. Нәтижелер және талқылау

3.1. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу

1-суретте судың бентонит сазбалшығы бөлшектерінен тазалану дәрежесінің қосылған ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің мольдік құрамы мен концентрациясына байланысты өзгерістері көрсетілген.



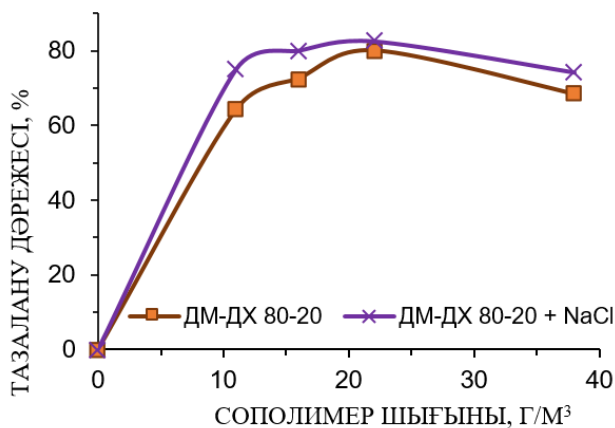
Сополимердің мольдік құрамы [ДМАПМА]:[ДМДААХ]

Сурет 1 – судың бентонит сазбалшығы бөлшектерінен тазалану дәрежесінің қосылған ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің мольдік құрамына және концентрациясына байланысты өзгерістері

Жоғарыдағы суреттен [ДМАПМА]:[ДМДААХ] = 50:50 мол. % мономерлер қоспасынан синтезделген сополимердің флокуляциялық қабілеті ең жоғары екендігін көруге болады. Бұл кезде сополимердің шығыны, шамамен $10 \div 15$ г/м³ құрайды. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің жоғары флокуляциялық қабілетін макромолекуланың оптимальді гидрофильдік-липофильдік балансы (ГЛБ) арқылы түсіндіруге болады.

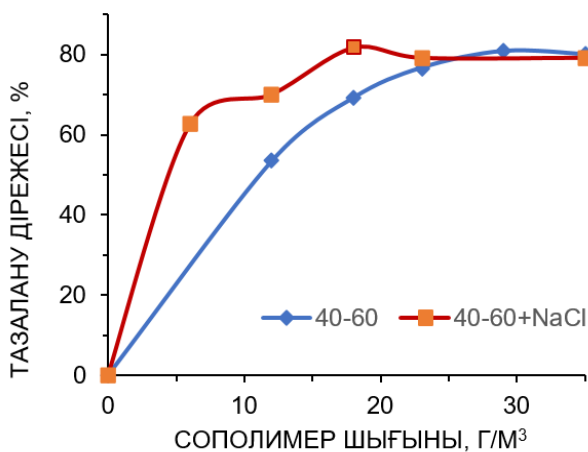
Демек, жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, бентонит сазының суспензиясына ДМДААХ–ДМАПМА сополимерін қосқанда, сополимер макромолекулалары электростатикалық механизм бойынша сазбалшық бөлшектерінің бетіне адсорбцияланады деп тұжырымдауға болады. Нәтижесінде бентонит сазбалшығы бөлшектерінің беттік (теріс) заряды нейтралданады және электрокинетикалық потенциалы төмендейді. Суспензиядағы флокулянттың концентрациясы оңтайлы мәніне жеткенде бөлшектердің электрокинетикалық потенциалы өзінің "критикалық" мәніне дейін төмендейді. Бұл кезде бөлшектер арасындағы тартылыс күші тебу күшінен басым болады да, бентонит сазбөлшектері флокуляцияға ұшырайды, яғни бөлшектер бірігіп ыдыс түбіне шөгеді.

Бұл жұмыста, сонымен қатар, электролиттің (ортаның иондық күшінің) ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық қабілетіне әсері де зерттелді, өйткені электролиттер флокулянт макромолекулаларының физика-химиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететіндігі белгілі [6]. 2- және 3-суреттерде зерттеу нәтижелері келтірілген.



Ескерту: ДМ-ДМАПМА; ДХ-ДМДААХ
Сополимер құрамы: [ДМАПМА]:[ДМДААХ]=80:20

Сурет 2 – 0.01 мас. % NaCl қатысында және электролитсіз суды бентонит сазбалшығы бөлшектерінен тазарту дәрежесіне сополимер концентрациясының әсері



Ескерту: ДМ-ДМАПМА; ДХ-ДМДААХ
Сополимер құрамы: [ДМАПМА]:[ДМДААХ]=40:60

Сурет 3 – 0.01 мас. % NaCl қатысында және электролитсіз суды бентонит сазбалшығы бөлшектерінен тазарту дәрежесіне сополимер концентрациясының әсері

Нәтижелерді талдау барысында электролит ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялау қабілетін арттыра түсетіндігі анықталды. 0,01 мас. % NaCl қатысында бөлшектердің флокуляциясы күшейе түседі, суды

бентонит сазбалшығы бөлшектерінен тазарту дәрежесі артады және суды тазартудың максималды дәрежесіне сәйкес келетін сополимер концентрациясы (шығыны) азая түсетіндігін аңғаруға болады. Сонымен қатар, айта кететін жайт, электролиттің оң әсері ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің барлық дерлік мольдік құрамында байқалады. Электролит қатысында сополимер макромолекулаларының флокуляциялық қабілетінің артуын электролиттің қос электрлік қабаттың диффузиялық бөлігіне кіруімен байланыстыруға болады [5, 7, 8]. Нәтижесінде қосэлектрлік қабат сығылады, бөлшектердің электрокинетикалық потенциалы (заряды) төмендейді. Мұның бәрі, сайып келгенде, бентонит сазы бөлшектері арасындағы тебу күшінің әлсіреуіне және тартылыс күшінің күшеюіне әкеледі. Нәтижесінде дисперстік бөлшектердің тұрақтылығы төмендеп, олар флокуляцияға ұшырайды.

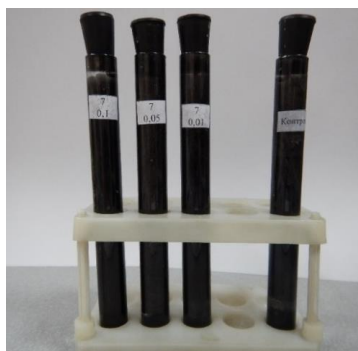
Демек, алынған тәжірибелік мәндерге сүйене отырып, ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық қабілеті бар және оны ағын суларды құрамындағы бентонит саздары дисперстік бөлшектерінен тазарту үшін қолдануға болады деп қорытынды жасауға болады.

3.2. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің биоцидтік қасиеттерін зерттеу

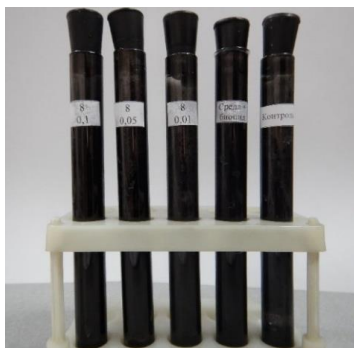
Құрамы [ДМАПМА]:[ДМДААХ] = 80:20 (1); 50:50 (2) және 20:80 (3) мол. % мономерлер қоспаларынан синтезделген ДМДААХ–ДМАПМА сополимерлері СТБ өсуін тежеу үшін биоцидтік қосылыстар ретінде сыналды. Берілген сополимерлер үлгілерінің СТБ өсуіне әсері үш концентрацияда зерттелді: 0.01 %, 0.05% және 0.1 % (4-сурет). Ол үшін тәжірибелік пробиркаларға 1 мл СТБ дақылдық сұйықтығы енгізіліп, сонан соң құрамына сополимердің тиісті концентрациясы қосылған қоректік орта құйылды. Сынақ бір ай бойы жүргізілді. Бақылау нұсқасында СТБ сополимерсіз өсірілді. СТБ дамуы өсірудің бесінші тәулігінде байқалды. Бактерияның өсуі барысында пробирканың ішкі бетінде жұқа металдық жылтыр қабат (қабыршақ) пайда болды (4-сурет).



(1)



(2)



(3)

Сополимер концентрациясы (солдан оңға, мас. %): 0.1; 0.05 және 0.01.

Сурет 4 – ДМДААХ–ДМАПМА сополимері үлгілерінің қатысуымен СТБ өсуі

Бақылау барысында ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің (1) және (3) үлгілері, сәйкесінше, 0.05 мас. % және 0.1 мас. % концентрацияда СТБ дамуын толығымен (100 %) тежейтіні анықталды. Ал осы үлгілердің 0.01 мас. % концентрациясында СТБ дамуы байқалды. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің (2) үлгісі тек 0.1 мас. % концентрациясында ғана СТБ дамуын толығымен тежейді. Осы үлгінің 0.05 мас. %-да СТБ дамуы байқалды. Үлгілердің биоцидтік әсері бүкіл сынақ кезеңінде сақталды. Микроскопиялық зерттеулер бұл үлгілерде СТБ бактерияларының жоқтығын көрсетті.

Демек, сынақ нәтижелерін ескере отырып, құрамы [ДМАПМА]: [ДМДААХ] = 80:20 (1) және 20:80 (3) мол. % мономерлер қоспаларынан синтезделген ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің берілген үлгілері биоцидтік қасиеттерге ие және 0.05 мас. % минималды концентрацияда СТБ өсуін тежейді деп қорытынды жасауға болады.

ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің жоғары биоцидтік әсерін макромолекулаларының микроорганизм бетіне электростатикалық механизм бойынша адсорбциялану қабілетімен түсіндіруге болады [8]. Адсорбция нәтижесінде микроорганизм бетінде жұқа адсорбциялық қабыршақ пайда болады, ол микроорганизм мен қоршаған (қоректік) орта арасындағы масса алмасу процесін айтарлықтай төмендетеді және микроорганизмге оттегінің өтуін едәуір шектейді. Мұның бәрі, сайып келгенде, микроорганизмдердің (бактериялардың) жойылуына әкеледі.

4. Қорытынды

1. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің флокуляциялық және биоцидтік қасиеттеріне оның мольдік құрамы мен ортаның иондық күшінің әсері зерттелді.

2. Мольдік құрамы 50:50 мол. % мономерлер қоспасынан синтезделген ДМДААХ–ДМАПМА сополимерінің бентонит сазбалшығы

суспензиясының дисперстік бөлшектеріне қатысты флокуляциялық қабілеті ең жоғары екендігі және тұздың (NaCl) қатысында сополимердің флокуляциялық қасиеті арта түсетіндігі анықталды.

3. ДМДААХ–ДМАПМА сополимерлеріне биоцидтік қасиет тән екендігі және оларды СТБ өсуін тежеуші биоцидтік қосылыстар ретінде қолдануға болатындығы дәлелденді. СТБ өсуін тежейтін оңтайлы концентрация 0.01÷0.05 мас. % аралығында сополимердің мольдік құрамына байланысты өзгеретіндігі анықталды.

Қаржыландыру: Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыруда (Жоба № AP14870286).

Мүдделер қақтығысы: Бұл жұмыста авторлар арасында мүдделік қақтығыс жоқ.

ФЛОКУЛИРУЮЩИЕ И БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРА N,N-ДИМЕТИЛ-N,N-ДИАЛЛИЛ АММОНИЙ ХЛОРИДА С N,N-ДИМЕТИЛАМИНОПРОПИЛМЕТАКРИЛАМИДОМ

Б.Е. Орынбаев, М.Б. Журсумбаева, Н.Ж. Сейткалиева, К.Ж. Абдиев*

Сатбаев университет, Алматы, Қазақстан,

**E-mail:k.abdiyev@satbayev.university*

Резюме. Введение. В настоящее время загрязнение водоемов вредными промышленными отходами считается одной из актуальных проблем. Для очистки промышленных сточных вод от вредных примесей обычно применяют флокулянты. Однако, известные флокулянты не всегда отвечают предъявляемым к ним требованиям. Основная причина этого – высокая стоимость мономеров или сложность методов синтеза флокулянтов. Еще одной нерешенной проблемой остается микробиологическая коррозия (биокоррозия) металлических и железобетонных конструкций. В эти связи синтез новых эффективных флокулянтов с биоцидными свойствами является одной из актуальных задач. *Целью* настоящей работы является синтез и изучение флокуляционных и биоцидных свойств сополимера N,N-диметил-N,N-диаллиламмоний хлорида с N,N-диметиламинопропил-метакриламидом (ДМДААХ-ДМАПМА). Методика работы заключается в синтезе нового эффективного поли-ПАВ с флокулирующим и биоцидным действиями на основе доступных промышленных мономеров методом радикальной сополимеризации и определении его свойств современными методами. *Результаты и обсуждение.* Изучено влияние мольного состава и ионной силы среды на флокуляционные и биоцидные свойства синтезированного сополимера ДМДААХ-ДМАПМА. Доказано, что сополимер, синтезированный из смеси мономеров мольного состава 50:50 мол. %, проявляет наиболее высокие флокуляционные свойства по отношению к дисперсным частицам бентонитовой глины. Присутствие соли (0.01 мас.% NaCl) в среде повышает флокуляционные свойства сополимера. Установлено, что сополимеры ДМДААХ-ДМАПМА обладают биоцидными свойствами и могут быть использованы в качестве биоцидного соединения для подавления роста СРБ. Оптимальной концентрацией является 0.01÷0.05 мас. %.

Ключевые слова: сополимеризация, флокулянт, очистка воды, биоцид, микробиологическая коррозия

<i>Орынбаев Бауржан Елтаевич</i>	<i>магистр</i>
<i>Журсумбаева Мариямкуль Буркановна</i>	<i>кандидат химических наук, ассоциированный профессор</i>
<i>Сейткалиева Нургуль Жарылкагановна</i>	<i>кандидат химических наук</i>
<i>Абдиев Калдибек Жамшаевич</i>	<i>доктор химических наук, доцент, профессор</i>

References

1. Chee Yang Teh, Pretty Mori Budiman, Katrina Pui Yee Shak, and Ta Yeong Wu. Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2016**, *55*(16), 4363–4389. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>
2. Victor Ajao, Harry Bruning, Huub Rijnaarts, Hardy Temmink. Natural flocculants from fresh and saline wastewater: Comparative properties and flocculation performances. *Chem. Eng. J.*, **2018**, *349*, 622–632. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.123>
3. Chai Siah Lee, John Robinson, Mei Fong Chong. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Protection*. **2014**, *92*(6), 489–508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.04.010>
4. Abdiyev, K.Zh., Maric, M., Orynbayev, B., Zhurumbaeva, M., Seitkaliyeva, N., Toktarbay, Z. Novel Cationic Polymer Surfactant for Regulation of the Rheological and Biocidal Properties of the Water-Based Drilling Muds. *Polymers*, **2023**, *15*(2), 330; Open access. <https://doi.org/10.3390/polym15020330>
5. Abdiyev, K.Zh., Maric, M., Orynbayev, B.Y., Toktarbay Zh., Zhursum-baeva, M.B., Seitkaliyeva, N.Z. Flocculating properties of 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid-co-allylamine polyampholytic copolymers. *Polymer Bulletin*, **2022**, *79*(12), 10741–10756.
6. Шачнева Е.В. Влияние ионной силы раствора на физико-химические свойства частиц флокулянта А-1510. *Астраханский вестник экологического образования*, **2013**, № 3 (25), 96–102. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-ionnoy-sily-rastvora-na-fiziko-himicheskie-svoystva-chastits-flokulyanta-a-1510>
7. Щукин Д.А., Перцов А.В., Амелина Е. Коллоидная химия. М.: Высшая школа, **2004**, 445 с.
8. Dauletov, Ye., Nuraje, N., Abdiyev, K., Toktarbay, Zh., Zhurumbaeva, M. Copolymers of Diallyldimethylammonium Chloride and Vinyl Ether of Monoethanolamine: synthesis, flocculating and antimicrobial properties. *Journal of Surfactants and Detergents*, **2019**, *22*(5), 1129–1137. <https://doi.org/10.1002/jsde.12283>