

CHARACTERISTICS OF MUTUAL ACTIVATION OF AN INTERGEL SYSTEM BASED ON HYDROGEL POLYMETHACRYL ACID AND POLY-4-VINYL PYRIDINE

T.K. Jumadilov^{1,2}, G.T. Dyussebayeva^{1,2*}, Zh.S. Mukataeva²
M.T. Suleimenova², J.V. Gražulevicius³

¹A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The electrochemical properties of mutual activation of polymer networks as a result of remote interaction in an intergel system have been studied. An intergel system consisting of hydrogels of rare crosslinked polymethacrylic acid (hPMAA) and poly-4-vinylpyridine (hP4VP) was chosen as the object of study [1,2]. *The purpose* of the work is to study the mutual activation features of the intergel system of rare crosslinked hPMAA: hP4VP. *The obtained results* as the contact time of hydrogels with water increased, zones of maximum and minimum conductivity were observed at the highest points of initial conductivity for different ratios of hPMAA:hP4VP hydrogel systems. In the 6:0 ratio of hPMAA hydrogel, the specific conductivity of the aqueous medium reached its maximum value after one day, and the pH value of the medium decreased relatively to about 4.95. The swelling degree of hPMAA hydrogel was constant at 6:0 different time intervals. In this system, only one polymer, namely hPMAA showed that the hydrogel's water absorption capacity was limited. In the 5:1 ratio of the intergel system, the specific conductivity of the medium reached a high value, and the pH value decreased in the 5:1 ratio. After 2.5 hours of study, a decrease in the conductivity of the aqueous medium was observed at 4:2 hydrogel ratio. After 6 hours, the highest degree of swelling was maintained at 1:5 ratio. In the presence of hP4VP hydrogel at a ratio of 0:6, the pH of the medium increased from 5 to a maximum value of 6.6 within 24 hours. *Conclusion.* The electrochemical properties of hPMAA:hP4VP hydrogel system were studied by remote interaction. Based on the systematic work, we synthesized the required acidic hydrogel hPMAA:hP4VP and carried out various studies on their properties. To create an intergel system, the obtained hydrogels in seven different proportions were made into an intergel system and their interactions were studied using various physicochemical methods. As a result of the study, the remote interaction of hydrogels in the intergel system leads to conformational changes in their intercellular bonds which undergo additional swelling. As a result of mutual activation, the hydrogels move to a highly ionized state.

Keywords: intergel system, ion exchange resins, hydrogels, remote effect, specific conductivity, pH value, swelling coefficient, activated.

Citation: Jumadilov T.K., Dyussebaeva G.T., Mukataeva Zh.S., Gražulevicius J.V., Suleimenova M.T. Characteristics of mutual activation of an intergel system based on hydrogel polymethacryl acid and poly-4-vinyl pyridine. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 2(86), 94-104. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-2.2710-1185.25>

<i>Jumadilov Talkybek Kozhatayevich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: jumadilov@mail.ru</i>
<i>Dyussebayeva Gulnur Toktagazinovna</i>	<i>PhD student, e-mail: g_gazinovna@mail.ru</i>
<i>Mukataeva Zhazira Sagatbekovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, associated Professor, e-mail: jazira-1974@mail.ru</i>
<i>Suleimеноva Meruyert Turekhanovna</i>	<i>PhD student, e-mail: suleimеноva.me@gmail.com</i>
<i>Grazulevicius Juozas Vidas</i>	<i>Full professor, Kaunas University of Technology, e-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt</i>

ПОЛИМЕТАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ МЕН ПОЛИ-4-ВИНИЛПИРИДИН ГИДРОГЕЛЬДЕРІНЕН ТҰРАТЫН ИНТЕРГЕЛЬДІ ЖҮЙЕНІҢ ӨЗАРА АКТИВТЕЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Т.К. Джумадиллов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева²,*

М.Т. Сулейменова²

Ю.В. Гражсулявичюс³

¹*«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*

²*Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан*

³*Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва*

^{*}*E-mail: g_gazinovna@mail.ru*

Түйіндемe. *Kіріспе.* Интергельді жүйеде қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде полимерлерлі торлардың өзара активтенуінің электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Зерттеу нысаны ретінде сирек торланған полиметакрил қышқылы (ПМАҚ) және поли-4-винилпиридин (П4ВП) гидрогельдерінен құралған интергельді жүйе таңдап алынды [1,2]. Жұмыстың мақсаты сирек торланған ПМАҚ және П4ВП интергельді жүйесінің өзара активтелу ерекшеліктерін зерттеу болып табылады. Алынған нәтижелер. Гидрогельдердің сумен жанасу уақыты ұлғайған сайын ПМАҚ:П4ВП жүйесінің әртүрлі қатынастар үшін бастапқы электрөткізгіштің ең жоғарғы нүктелерінде максималды және минималды электрөткізгіштік аймақтары байқалды. гПМАҚ гидрогелінің 6:0 қатынасында сулы ортаның меншікті электрөткізгіштігі бір тәуліктен соң максималды мәнге жетті, ал ортаның рН көрсеткіші салыстырмалы түрде шамамен 4.95-ке дейін төмендеді. гПМАҚ гидрогелінің ісіну коэффициенті әртүрлі уақыт аралықтарында 6:0 қатынасында тұрақты мәнге ие болды. Интергельді жүйенің 5:1 қатынасында ортаның меншікті электрөткізгіштігі жоғары мәнге жетті, ал 5:1 қатынасында рН мәні төмендеді. Зерттеудің 2.5 сағаттан соң гидрогельдердің 4:2 қатынасында сулы ортаның электрөткізгіштігі төмендегені байқалады. 6 сағаттан кейін ең жоғары ісіну коэффициенті 1:5 қатынасында сақталды. 0:6 қатынасында поли-4-винилпиридин гидрогелі қатынасында ортаның рН көрсеткіші 24 сағаттың ішінде 5 көрсеткішінен максимум мәнге 6.6-ға дейін көтерілген. Қорытынды. Қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде ПМАҚ:П4ВП жүйесінің электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Жұмысты жүйелі жүргізу негізінде, біз алдымен қажетті болып отырған қашықтық гидрогель ПМАҚ: П4ВП негіздік гидрогелін синтезделіп, олардың қасиеттеріне әр түрлі зерттеу жұмыстары мен сараптамалар жүргізілді. Интергельді жүйе құру мақсатында, алынған гидрогелдерден жеті түрлі қатынаста жүйелер құрып оны тек дистилденген су ортасындағы өз ара әсерлесуін әр түрлі физика-химиялық әдістер арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижесінде интергельді жүйедегі гидрогельдердің қашықтықтан әрекеттесуі олардың торап аралық байланыстарының конформациялық өзгерістеріне алып келеді, олар қосымша ісінуге ұшырайды. Өзара активтелу нәтижесінде гидрогельдер едеуір жоғары ионизацияланған күйге көшетіні анықталды.

Түйін сөздер: интергельді жүйе, иониттер, гидрогельдер, қашықтан әсер ету, меншікті электрөткізгіштік, рН көрсеткіші, ісіну коэффициенті (K_i), активтелу.

<i>Джумадиллов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Дюсембаева Гульнур</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Токтагазиновна Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>

1. Кіріспе

Қазіргі қоғам өмірінде гидрогелдердің полимерлік комплекстері және жоғары өткізгіштік қасиеттері бар иониттер сияқты жаңа полимерлік материалдарды синтездеу мүмкіншілігі зерттеушілердің назарын аударуда [3,4]. Гидрогелдерге тән физикалық және химиялық қасиеттері олардың құрамында болатын функционалдық топтардың табиғатындағы ерекшеліктермен анықталады. Біраз жылдардан бері торланған сызықты макромолекулалардың қатысында жүзеге асатын интер- және интерполимерлік комплекстер түзу қабілеті бар, гидрогелдерге ерекше мән берілуде [5,6]. Гидрогелдің әртүрлі қосылыстармен әрекеттесулерін жүйелі түрде зерттеу барысында, табиғаты өзгеше екі гидрогелдің қашықтықтан әрекеттесуі барысында олардың қасиеттерінің өзгеруіндегі байқалған кейбір тұздар үшін белгілі мольдік қатынастағы интергелдік жүйелердің қасиеттерінің реті қарастырылды [7,8].

2. Эксперименттік бөлім

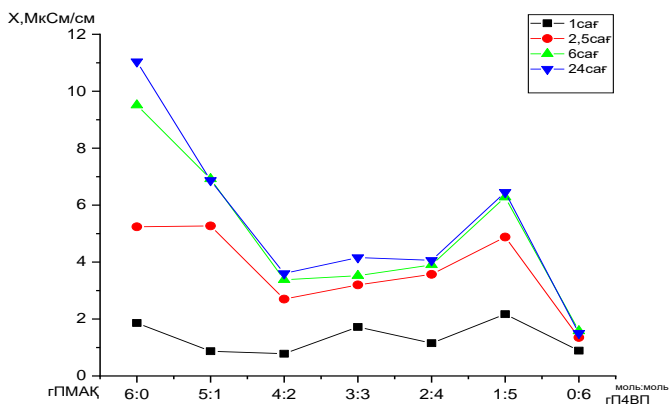
Электрохимиялық қасиеттерді анықтау: Сулы ортаның электроөткізгіштігін анықтау үшін кондуктометр МАРК 603 жүргізілді. рН мәндерін өлшеу үшін 827 рН-Lab (Швейцария) қондырғылары пайдаланылды.

Зерттеу нысандары: Интерполимерлік жүйелерде қашықтықтан әсерлесу негізінде интергелді жұп құрау үшін ПМАҚ:П4ВП гидрогельдері қолданылды. Тәжірибелік зерттеу жұмыстар бөлме температурасында жүргізілді. Интерполимерлік жүйені дайындау процесі келесідей түрде жүзеге асырылды: Гидрогель массасы өлшеніп арнайы дайындалған жеке полипропиленді ұяшықтарға салынады. Сулы ерітіндінің электрохимиялық өзгерістері әр түрлі уақыт интервалында өлшенді. Ісіну коэффициентін бос ұяшық салмағын гидрогель салынған ұяшық салмағынан алып тастау арқылы есептелінді.

3. Нәтижелер және оларды талқылау.

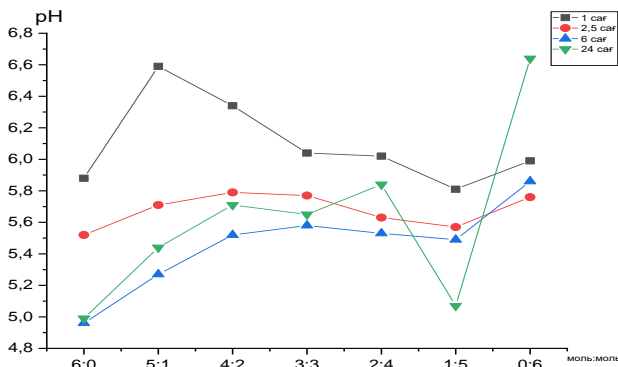
Зерттеу жұмыстарының нәтижесінде түрлі функционалды топтары бар интергелді жүйелерде гидрогельдердің өзара активтелуі олардың электрохимиялық көлемді-гравиметриялық құрамының өзгеріске ұшырайтынын дәлелдейді [9,10]. 1-суретте гПМАҚ:гП4ВП интергелді жүйесінің мольдік қатынастарында белгілі бір уақыт аралықтарында сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің өзгеруі көрсетілген. гПМАҚ гидрогелінің 6:0 қатынасында сулы ортаның меншікті электрөткізгіштігі бір тәуліктен соң максималды мәнге жеткен, ал интергелді жүйеде барлық уақыт аралықтарында 6:0 қатынасында 24 сағаттан кейін ортаның рН мәні салыстырмалы түрде шамамен 4.95-ке дейін төмендеген. гПМАҚ

гидрогельдің ісіну коэффициенті әртүрлі уақыт аралықтарында 6:0 қатынасында тұрақты мәнге ие болады.



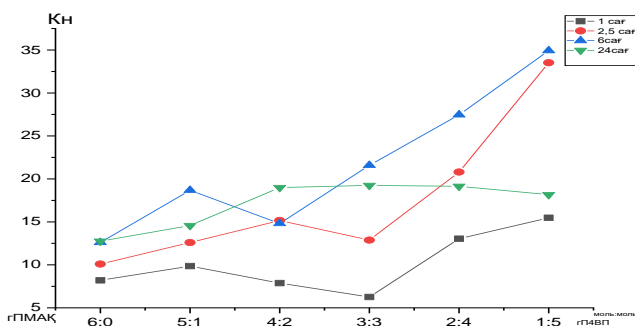
Сурет 1 – Әр түрлі қатынастағы гПМАҚ– гП4ВП гидрогельдерінің меншікті электрөткізгіштік көрсеткіштерінің мольдік қатынастарына тәуелділігі

2-суретте Сирек торланған гПМАҚ:гП4ВП интергелді жүйесінің рН шамасының гидрогельдердің әр түрлі мольдік қатынастарына тәуелділігінің сызбасы бейнеленген. Тәжірибенің 1-сағатына қарай сулы ортаның рН мәні 5:1 қатынасында максимум мәнге 6.6-ға жетіп, кейін біртіндеп рН көрсеткіші түскені байқалады, бұл рН мәні төмендегенде, H^+ немесе H_3O гидроксоний иондарының концентрациясы артып, электрөткізгіштіктің мәні максималды нүктені көрсетті. Сулы ортаның ісіну коэффициенті (K_i) гПМАҚ : гП4ВП гидрогельдерінің 5:1 қатынасында жоғарғы нүктеге жетіп, бірақ кейін төмендегені байқалды.



Сурет 2 - гПМАҚ– гП4ВП интергелді жүйесінің әр түрлі қатынастағы рН көрсеткіштерінің сулы ортадағы мольдік қатынастарына тәуелділігі

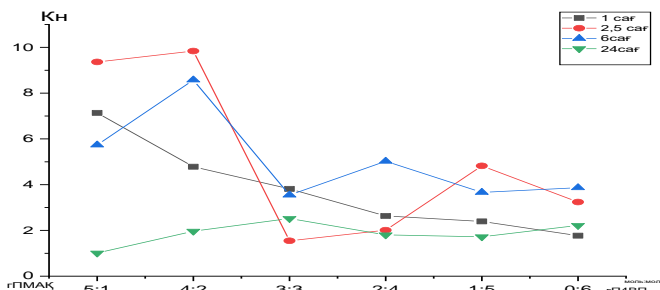
Суретте, уақытқа қатысты гидрогельдердің 4:2, 3:3 және 2:4 қатынастары үшін рН шамасының бастапқы деңгейден біртіндеп өзгергені көрінеді, ал ісіну коэффициентінің біртіндеп өсуі 3:3, 2:4 және 1:5 қатынасында байқалады. 3-ші суретте П4ВП гидрогелі қатысында гПМАҚ ісіну дәрежесінің сулы ортадағы гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігінің өзгерісі келтірілген. Қашықтықтан әсер ету нәтижесінде 24 сағаттан кейін ісіну коэффициенті 3:3 қатынас аймағында күрт төмендегені байқалады, себебі негізгі топтардың жеткіліксіз ісіну жылдамдығының төмен болуына және олардың концентрацияларының төмен болуына байланысты. Уақыт өте келе екі гидрогель арасындағы жүйенің сіңіру қабілетінің айтарлықтай артуына және гидрогельдердегі топтардың иондану дәрежесінің өзгеруіне әкеледі. 6 сағаттық уақыт интервалында жоғары ісіну мәндері 4:2 қатынасында да сақталынады. Ортаның электрөткізгіштігі 24 сағаттан соң интергельді жүйенің 1:5 қатынасында жоғары мәнді көрсеткен. Ал бір тәуліктен соң гидрогельдердің 1:5 қатынасында ортаның рН мәні шамамен 5-ке дейін төмендейді, бұл молекулаішілік ассоциаттардың ыдырауымен түсіндіріледі. Тәжірибе басталғаннан соң 2.5 және 6 сағаттан кейін жоғары ісіну коэффициенті 1:5 қатынасында байқалады. Жүйедегі П4ВП гидрогелі көлемінің айтарлықтай төмендегені зерттеудің 24 сағатында сулы ортаның 2:4 және 1:5 қатынастарында минимумдық көрсеткіші байқалған. 0:6 қатынасында электр өткізгіштік мәндерінде аса көп өзгерістер байқалмайтынын көруге болады. Ал 0:6 қатынасында поли-4-винилпиридин гидрогелі қатысында ортаның рН көрсеткіші 24 сағаттың ішінде 5 көрсеткішінен максимум мәнге 6.6-ға дейін көтерілгені байқай аламыз.



Сурет 3 - П4ВП гидрогелі қатысында гПМАҚ ісіну дәрежесінің сулы ортадағы гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі

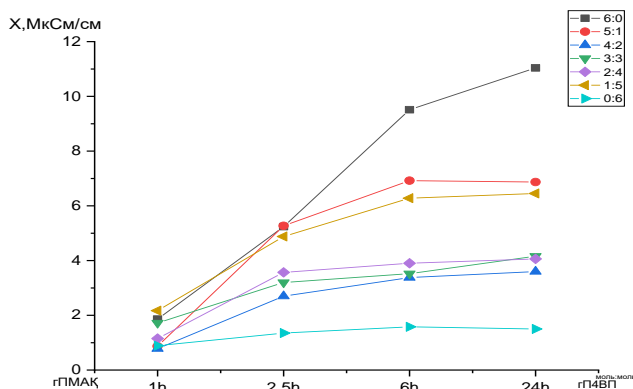
Ісіну коэффициенті (K_i) 0:6 қатынасында бастапқы гидрогельдермен салыстырғанда аса қатты өзгеріске ұшырамағаны суретте бейнеленген. 5-суретте гПМАҚ:гП4ВП интергельді жүйенің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа тәуелділігі көрсетілген. Зерттеудің 24-ші сағатында гидрогельдердің қашықтықтан бір-біріне әсер етуі

нәтижесінде, сулы ортаның меншікті электрөткізгіштіктің мәнінің 6:0 қатынасында лезде өскен, ал рН мәні гидрогельдердің осы қатынасында сутегі ионының концентрациясы минимумға дейін түскен. гПМАҚ : гП4ВП гидрогельдерінің ісіну коэффициенттері 6:0 және 5:1 қатынастарында 2.5 сағатта жоғарғы нүктеге жеткен, бұл карбоксил тобынан бөлінген протонның полинегіздің азот атомдарымен байланысуына негізделуі мүмкін.



Сурет 4 - ПМАҚ гидрогелі қатысында гП4ВП гелінің ісіну коэффициентінің (К_н) мольдік қатынастарына тәуелділігі

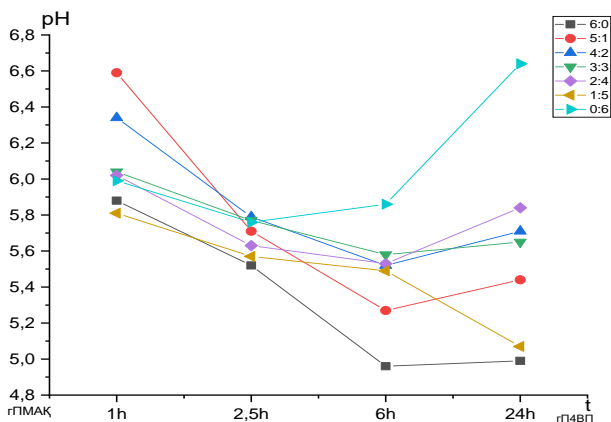
Интергелді жүйедегі гидрогельдердің 5:1 қатынасында электрөткізгіштіктің мәні әртүрлі уақыт аралықтарында 5:1 және 1:5 қатынастарында уақытқа сай біртіндеп өскенің байқаймыз, бұл ОН⁻ иондарының пайда болуы нәтижесінде гидрогельдердің қашықтан бір – біріне әсер етуі нәтижесінде, сулы ортаның электрөткізгіштігі артатыны байқалады.



Сурет 5 - гПМАҚ:гП4ВП интергелді жүйесінің меншікті электрөткізгіштігінің сулы ортадағы уақытқа тәуелділігі

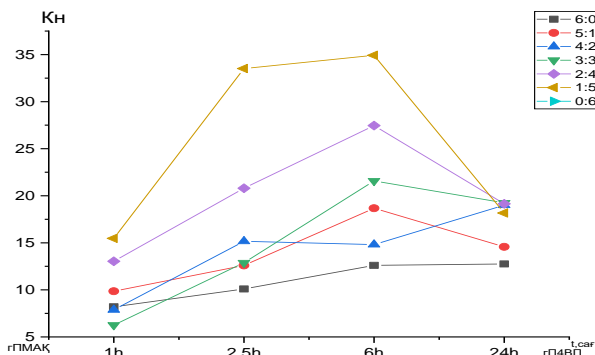
6-суретте гПМАҚ: гП4ВП интергельді жүйесінің рН көрсеткіштерінің әр түрлі уақыт аралықтарында өзгеруі көрсетілген. Интергельді жүйенің гПМАҚ:гП4ВП гидрогельдерінде ортаның рН мәні 5:1 қатынасында 1 сағатта максимумға 6.6-ға көтеріліп, уақыт өте келе рН көрсеткіші 6 сағатқа жеткенде 5.3-ке дейін төмендеген, ал 24 сағатқа жеткенде қайта көтерілгенің байқаймыз.

Гидрогельдер арасында өзара әрекеттесу нәтижесінде 1:5 қатынасында 2.5 және 6 сағаттық уақыт кезінде ең жоғары ісіну коэффициенті байқалады. (K_i) ісіну коэффициенті уақытқа сай өсе келіп, 24 сағатқа жеткен кезде күрт төмендеген, яғни гидрогель құрылымының қаныққандығын байқаймыз.



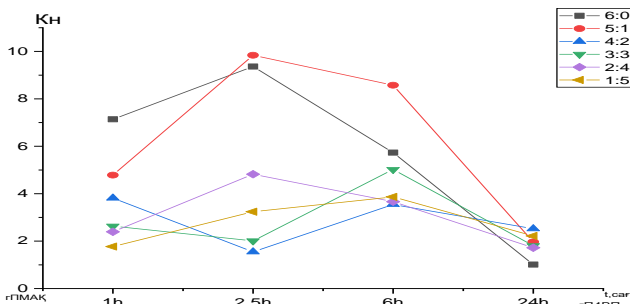
Сурет 6 - гПМАҚ: гП4ВП интергельді жүйесінің рН көрсеткіштерінің әр түрлі уақытқа тәуелділігі

Гидрогельдердің 4:2, 3:3 және 2:4 қатынастарында ортаның рН көрсеткіші біртіндеп төмендеген, бұл ерітіндіге сутегі иондарының бөлінгендігінен ортаның рН көрсеткіші төмендегені байқалады. гПМАҚ:гП4ВП интергельді жүйесінің рН көрсеткіші бір тәуліктен соң гидрогельдердің 1:5 қатынасында ортаның рН мәні 5-ке дейін төмендеп, минималды мәнді көрсеткен.



Сурет 7- әртүрлі уақыт аралықтарында гПМАҚ гидрогелдің ісіну коэффициентінің уақытқа тәуелділігі

Жоғары ісіну мәндері 2:4 және 3:3 қатынастарында да сақталынады, себебі әртүрлі уақыт аралықтарында жүйенің сіңіру қабілеті артады. 8-суретте сулы ортада поли-4-винилпиридин гидрогелінің түрлі уақыт аралықтарында ісіну коэффициентінің (K_i) тәуелділіктері көрсетілген. Зерттеудің 24 сағатында рН ортаның нүктесі 0:6 қатынасында біршама жоғарылап максимумға мәнге $pH_{max} = 6.65$ тең, бұл мәндер ерітіндіде H^+ и OH^- иондарының концентрациялары жақын екенін көрсетеді.



Сурет 8 – гП4ВП гидрогелінің ісіну коэффициентінің сулы ортадағы уақытқа тәуелділігі

Қышқылдық гидрогель қатысында катионды гидрогелдің 2.5 сағатта ісіну коэффициентінің (K_i) артып, уақыт өте келе 24 сағаттан соң күрт төмендегені көреміз.

4.Қорытынды

Қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде ПМАҚ:П4ВП жүйесінің электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Жұмысты жүйелі жүргізу негізінде, алдымен қажетті болып отырған қышқылдық гидрогель ПМАҚ: П4ВП негіздік гидрогелін синтезделіп, олардың электрохимиялық қасиеттеріне әр

түрлі зертеу жұмыстары мен сараптамалар жүргізілді. Интергелді жүйе құру мақсатында, алынған гидрогелдерден жеті түрлі қатынаста жүйелер құрып оны тек дистилденген су ортасындағы өз ара әсерлесуін әр түрлі физика-химиялық әдістер арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижесінде интергелді жүйедегі гидрогельдердің қашықтықтан әрекеттесуі олардың торап аралық байланыстарының конформациялық өзгерістеріне алып келеді, олар қосымша ісінуге ұшырайды. Осылайша, алынған нәтижелер сулы ортада полиметакрил қышқылы мен поли-4-винилпиридин гидрогелдері бірін-бірі белсендіре отыра және қарама-қарсы зарядталған иондармен бейтарапталмаған иондар түзе отыра өзара қашықтықтан әрекеттесетінің көрсетті. Өзара активтелу нәтижесінде гидрогельдер едәуір жоғары ионизацияланған күйге көшетіні анықталды.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыру бойынша No.BR18574042 жобасымен қаржыландырылды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМНОЙ АКТИВАЦИИ ИНТЕРГЕЛЕВОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИ-4-ВИНИЛПИРИДИНА

Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева², М.Т. Сулейменова², Ю.В. Гражулявичюс³*

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Каунасский технологический университет, Каунас, Литва

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Резюме. *Введение.* Изучены электрохимические свойства взаимной активации гидрогелей в результате дистанционного взаимодействия в интергелевой системе. В качестве объекта исследования была выбрана интергелевая система, состоящая из гидрогелей редкосшитой полиметакриловой кислоты (ПМАК) и поли-4-винилпиридина (П4ВП) [1,2]. *Цель работы* - целью исследования является изучение особенностей взаимной активации интергелевой системы редкосшитой ПМАК:П4ВП. *Полученные результаты.* По мере увеличения времени контакта гидрогелей с водой в наивысших точках начальной проводимости наблюдались зоны максимальной и минимальной проводимости для различных соотношений систем гидрогеля ПМАК:П4ВП. В соотношении 6:0 гидрогеля гПМАК удельная электропроводность водной среды достигла максимального значения через одни сутки, а значение pH среды снизилось относительно примерно до 4,95. Степень набухания гидрогеля гПМАК была постоянной и составляла 6:0 в различные интервалы времени. В соотношении 5:1 интергелевой системы удельная проводимость среды достигала высокого значения, а значение pH снижалось. Через 2,5 часа исследования наблюдалось снижение электропроводности водной среды при соотношении гидрогелей 4:2. Через 6 часов наибольшая степень набухания сохранялась при соотношении 1:5. В присутствии гидрогеля П4ВП в соотношении 0:6 pH среды повышался от 5 до максимального значения 6,6 в течение 24 часов. *Вывод.* В результате дистанционного взаимодействия изучены электрохимические свойства системы гидрогеля ПМАК:П4ВП. На основе систематической работы мы синтезировали необходимый кислотный гидрогель ПМАК:П4ВП и провели различные исследования их свойств. Для создания интергелевой системы из полученных гидрогелей в семи различных пропорциях были созданы системы и изучено их взаимодействие с использованием различных физико-химических методов. В результате исследования удаленное взаимодействие гидрогелей в интергелевой системе приводит к конформационным изменениям их межклеточных

связей, которые подвергаются дополнительному набуханию. В результате взаимной активации гидрогели переходят в высокоионизированное состояние.

Ключевые слова: интергелевая система, иониты, гидрогели, дальное действие, удельная электропроводность, показатель pH, (Кн) коэффициент набухания, активация.

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Кандидат химических наук, ассоц. профессор</i>
<i>Сүлейменова Меруерт Турехановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

Әдебиеттер тізімі

1. Shalla A. H., Yaseen, Z., Bhat, M. A., Rangreez, T. A., Maswal M. Recent review for removal of metal ions by hydrogels. *Sep. Sci. Technol.* **2019**, 54 No. 1, 89–100. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1503307>
2. Azizkarimi, M., Tabaian S. H., Rezai B. Electrochemical Investigation of Chalcopyrite Oxidation in Alkaline Solutions. *Sep. Sci. Technol.* **2021**, 49, No. 16, 2595–2601. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.938272>
3. Jumadilov T. K., Imangazy A.M., Khimersen Kh., Haponiuk J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polym. Bull.* **2023**, 81. 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>
4. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk J.T., Influence of Initial States on the Electrochemical Behavior of Industrial Ionites in the Interpolymer System Lewatit CNPLF-AB-17-8. *Advanced Polymer Structures: Chem. Eng. Applicat.* **2023**, 83-95. <https://doi.org/10.1201/9781003352181-9>
5. Jumadilov T.K, Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A.M, Khimersen K., Grazulevicius J.V. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials.* **2021**, 14, 5402. <https://doi.org/10.3390/ma141854022>
6. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Eng. J. Sat. Univer.* **2022**, 144, No. 2, 22–27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>
7. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polym.* **2024**, 16, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>
8. Qihua Zh., Yong H., Rui Zh., Yating X., Richuan R., Na Li. Tea polyphenol reinforced polyacrylamide hydrogel as a regenerative adsorbent for low-concentration methylene blue. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp.* **2024**, 134591, ISSN 0927-7757. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134591>
9. Lie J., Liu J.C. Selective recovery of rare earth elements (REEs) from spent NiMH batteries by two-stage acid leaching. *J. Environ. Chem. Eng.* **2021**, 9(5). <http://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106084>
10. Hu, J., Zhang, L., Yu, Y., Liang, C., Sang, Y. Selective extraction of heavy metals from sewage sludge via combined process of acid leaching and ion exchange resins adsorption: Optimization and performance evaluation. *Sep. Sci. Technol.* **2023**, 58(10), 1773–1783. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2215400>

REFERENCES

1. Shalla A. H., Yaseen, Z., Bhat, M. A., Rangreez, T. A., Maswal, M. Recent review for removal of metal ions by hydrogels. *Sep. Sci. Technol.* **2019**, 54 No. 1, 89–100. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1503307>
2. Azizkarimi, M., Tabaian S. H., Rezai B. Electrochemical Investigation of Chalcopyrite Oxidation in Alkaline Solutions. *Sep. Sci. Technol.* **2021**, 49, No. 16, 2595–2601. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.938272>

3. Jumadilov T. K., Imangazy A.M., Khimersen Kh., Haponiuk J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polym. Bull.* **2023**, 81. 1-19. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>
4. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk J.T., Influence of Initial States on the Electrochemical Behavior of Industrial Ionites in the Interpolymer System Lewatit CNPLF-AB-17-8. *Advanced Polymer Structures: Chem. Eng. Applicat.* **2023**, 83-95. <https://doi.org/10.1201/9781003352181-9>
5. Jumadilov T.K, Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A.M, Khimersen K., Grazulevicius J.V. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials.* **2021**, 14, 5402. <https://doi.org/10.3390/ma141854022>
6. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engin. J. Sat. Univer.* **2022**, 144, No. 2, 22–27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>
7. Jumadilov T. K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polym.* **2024**, 16, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>
8. Qihua Zhou, Yong Hu, Rui Zhao, Yating Xu, Richuan Rao, Na Li. Tea polyphenol reinforced polyacrylamide hydrogel as a regenerative adsorbent for low-concentration methylene blue. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp.* **2024**, 134591, ISSN 0927-7757. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134591>
9. Lie J., Liu J.C. Selective recovery of rare earth elements (REEs) from spent NiMH batteries by two-stage acid leaching. *J. Environ. Chem. Eng.* **2021**, 9(5). <http://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106084>
10. Hu, J., Zhang, L., Yu, Y., Liang, C., Sang, Y. Selective extraction of heavy metals from sewage sludge via combined process of acid leaching and ion exchange resins adsorption: Optimization and performance evaluation. *Sep. Sci. Technol.* **2023**, 58(10), 1773–1783. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2215400>