

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF INTERGEL SYSTEMS BASED ON POLYACRYLIC ACID

T.K. Jumadilov^{1,2}, M.T. Suleimenova^{1,2*}, Kh. Khimersen¹,
B. Totkhuskyzy¹, G.T. Dyusseмбаeva^{1,2}, J.V. Gražulevičius³

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: suleimenova.me@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Currently, hydrogels are polymer materials in high demand due to their physicochemical properties, and recent years have seen significant attention given to the study of their physicochemical properties [1,2]. *The purpose* of this research is to investigate the effect of remote interaction on the electrochemical properties of intergel systems containing hydrogels of polyacrylic acid, poly-4-vinylpyridine, poly-2-methyl-5-vinylpyridine, and polyethyleneimine hydrogels with various initial states. The dependency of conductivity and pH levels in aqueous solutions of intergel systems was examined. *The obtained results* have shown that in the 5:1 ratio of the PAA_{swollen}:P4VP_{dry} intergel system, the conductivity of the aqueous medium reaches its maximum value after 24 hours, with a corresponding decrease in pH level. For the PAA_{dry}:P2M5VP_{dry} hydrogels at ratios of 5:1, 1:5, and 2:4, the high electroconductivity was observed at the sixth hour. The maximum pH value was achieved at a ratio of 4:2, indicating a low presence of nitrogen heteroatoms in the aqueous solution. The maximum conductivity in the PAA_{swollen}:PEI_{swollen} system at a 3:3 ratio was reached after 8.5 hours, while the pH showed its minimum value. In the study of the PAA_{dry}:PEI_{dry} intergel system, the pH of the aqueous medium decreased over time in all hydrogel ratios. An exception was noted at a 4:2 ratio, where pH slightly increased after 0.5 hours, then fell again, showing a deviation from the general pH trend. *Conclusion.* The conducted research has shown that specific conductivity varies across all molar ratios of hydrogels. It was established that changes in pairs and states of hydrogels in the intergel system affect specific conductivity, indicating the ratio of ionized and dissociated groups in the chain changes normally. These results demonstrate that these intergel systems can be used to get high-selectivity sorbents.

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

<i>Jumadilov Talkybek Kozhatayevich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: jumadilov@mail.ru</i>
<i>Suleimenova Meruyert Turekhanovna</i>	<i>PhD student, e-mail: suleimenova.me@gmail.com</i>
<i>Khimersen Khuangul</i>	<i>Junior researcher, e-mail: huan88@mail.ru</i>
<i>Totkhuskyzy Bakhytgul</i>	<i>PhD, e-mail: bakytgul.sakenova@mail.ru</i>
<i>Dyusseмбаeva Gulnur Toktargazinovna</i>	<i>PhD student, e-mail: g_gazinovna@mail.ru</i>
<i>Gražulevičius Juozas Vidas</i>	<i>Full professor, e-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt</i>

Citation: Jumadilov T.K., Suleimenova M.T., Khimersen Kh., Totkhuskyzy B., Dyusseмбаeva G.T., Gražulevičius J.V. Investigation of electrochemical characteristics of intergel systems based on polyacrylic acid. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 1(85), 5-16. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-1.2710-1185.01>

ПОЛИАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ НЕГІЗІНДЕ ҚҰРЫЛҒАН ИНТЕРГЕЛЬДІ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2*}, Х. Химэрсэн¹,
Б. Тотхусқызы¹, Г.Т. Дюсембаева², Ю.В. Гражулявичюс³

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

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва

*E-mail: suleimenova.me@gmail.com

Түйіндеме. Кіріспе. Қазіргі таңда гидрогельдер өздерінің физика-химиялық қасиеттеріне орай жоғары сұранысқа ие полимерлі материалдар және соңғы жылдары гидрогельдердің физикалық және химиялық қасиеттерін зерттеуге аса көңіл бөлінуде [1,2]. Жұмыстың мақсаты бастапқы күйлері бір-бірінен ерекшеленетін полиакрил қышқылы, поли-4-винилпиридин, поли-2-метил-5-винилпиридин және полиэтиленмин гидрогельдері қамтылған интергельді жүйелерінің электрохимиялық қасиеттеріне қашықтан әсер ету эффектісін зерттеу. Гидрогельдердің негізінде құрылған интергельдік жүйелердің су ерітінділерінің электрөткізгіштігінің және рН көрсеткіші уақытқа тәуелділігі қарастырылды. Алынған нәтижелер. гПАК_{ис}:гП4ВП_{құрғ.} жүйесінде 5:1 қатынасында ортаның электрөткізгіштігі бір тәуліктен соң максималды мәнге жеткен. Ортаның рН көрсеткіші аталған қатынаста төмендеген. гПАК_{құрғ.}:гП2М5ВП_{құрғ.} гидрогельдері 5:1, 1:5 және 2:4 қатынастарында, тәжірибенің 6-шы сағатында ортаның электрөткізгіштігі ең жоғарғы нүктесін көрсетті. Сулы ортаның рН мәні 4:2 қатынасында максимум мәнді көрсетті. Бұл ерітіндідегі азот гетероатомының концентрациясының төмен екендігін көрсетеді. гПАК_{ис}:гПЭИ_{ис} интергельді жүйесінің 3:3 қатынасында 8.5 сағаттан кейін анықталған электрөткізгіштіктің максималды мәні рН минималды мәніне дерлік сәйкес келеді. ПАК_{құрғ.}:ПЭИ_{құрғ.} интергельді жүйесінде уақыт өте гидрогельдердің барлық қатынасында дерлік рН мәні төмендеген. Алайда, 4:2 қатынасында сутектік көрсеткіш 0.5 сағатта біршама жоғарылап, қайта төмендеген, мұнда рН жалпы тенденциядан ауытқу байқалды. Қорытынды. Жасалған зерттеулердің нәтижесіне сүйенсек, гидрогельдердің барлық мольдік қатынастарында меншікті электрөткізгіштіктің өзгеретіні байқалды. Зерттеу нәтижесінде интергельді жүйедегі гидрогельдердің жұптарын және күйін өзгерту, меншікті электрөткізгіштікке әсер ететіндігі анықталды. Бұл мәліметтер буынаралық тізбек бойындағы ионданған және диссоциацияланған топтардың ара қатынасының қалыпты өзгеретінін көрсетті. Бұл көрсеткіштер осы жүйелер арқылы сұрыптылығы жоғары жақсы сорбенттерді алуға болатынын дәлелдейді.

Түйін сөздер: интергельді жүйе, гидрогельдер, меншікті электрөткізгіштік, қашықтан әсер ету, иониттер, рН көрсеткіші.

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Сулейменова Меруерт Турехановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Химэрсэн Хуангул</i>	<i>Кіші ғылыми қызметкер</i>
<i>Тотхусқызы Бахыткул</i>	<i>PhD</i>
<i>Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

1. Кіріспе

Интергельді жүйелердің электрохимиялық қасиеттерін зерттеуге арналған алдыңғы жұмыстарда, қашықтан әсер ету нәтижесінде гидрогельдердегі пиридин сақинасындағы азот атомы мен түйінаралық байланыстардағы -COOH тобының қосымша диссоциациялануы байқалған. Зерттеу нәтижелері қашықтан әсер ету нәтижесінде гидрогельдердің өзара белсендірілуі жүретінін, нәтижесінде гидрогельдер жоғары иондану

жағдайына өтіп, ерітінділердің электр өткізгіштігі мен рН сияқты электрохимиялық қасиеттері айтарлықтай өзгеріске ұшырайтынын көрсеткен. Соңғы зерттеулер интерполимерлі жүйелердің сорбция технологиясында құнды нысандар екені анықталған [3-7]. Бірақ, олардың сіңіру процесіндегі ролі толық зерттелмеген. Осыған байланысты бірқатар интерполимерлі жүйелердің электрохимиялық әрекеттесу заңдылықтары зерттеу жұмысының мақсаты болып табылады.

Тігілген полимерлер немесе ионалмастырғыш шайырлар – молекулалары химиялық жолмен торланған гидрогельдер. Олар әртүрлі әдістермен алынады. Мысалы торланған полимерлерге иондайтын топтарды енгізу арқылы жасалады. Макротізбектер бойындағы зарядталған топтардың жоғары тығыздығы оларға белгілі бір электрохимиялық, гидродинамикалық және конформациялық қасиеттер береді [8,9].

2. Эксперименттік бөлім

Зерттеу нысандары: Полиакрил, поли-4-винилпиридин, полиэтиленимин, поли-2-метил-5-винилпиридин гидрогельдері. Аталған гидрогельдер негізінде мольдік қатынастары әртүрлі интергельді жүйелер құрылды: гПАК_{іс.}:П4ВП_{құрғ.}, гПАК_{құрғ.}:гП2М5ВП_{құрғ.}, гПАК_{құрғ.}:гПЭИ_{құрғ.} және гПАК_{іс.}:гПЭИ_{іс.}. Интергельді жүйені зерттеу келесідей түрде жүзеге асырылды:

1) Массасы өлшеніп алынған әрбір гидрогель жеке полипропиленді сүзгіштерге салынды. Сүзгіштердің кеуектері төмен молекулалық иондар мен молекулалар үшін өтімді, ал гидрогелдердің дисперсиясы үшін өтімсіз.

2) Гидрогель салынған полипропиленді сүзгілер дистилденген су құйылған стақандарға салынды. Иониттер салынған полипропилен сүзгілер ерітіндіге бір-бірінен 2 см ара қашықтықта орналастырылды.

3) Сулы ерітіндінің электрохимиялық өзгерістері әр түрлі уақыт интервалында (меншікті электрөткізгіштік, рН) өлшенді. Гель орналасқан сұйықтықтың электрөткізгіштігі мен рН-көрсеткіші гидрогель салынған полипропиленді сүзгілерді стақаннан алғаннан кейін анықталды.

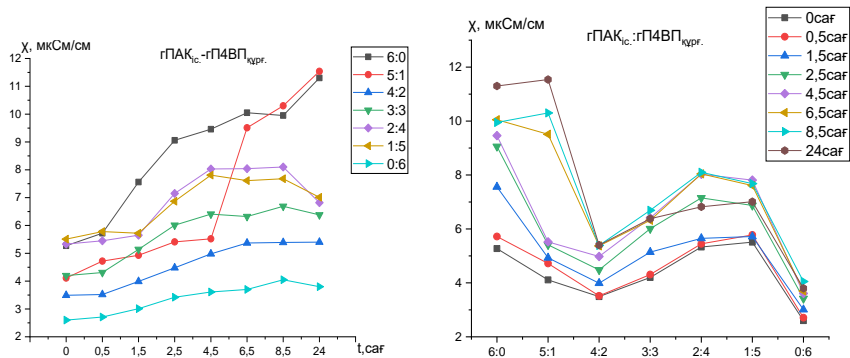
Пайдаланылған құрал-жабдықтар: Сулы ортаның электрөткізгіштіктігі мен рН көрсеткіштерін өлшеу үшін «МАРК 603» (Ресей) кондуктометри және рН-метр Metrohm 827 рН-Lab (Швейцария) қолданылды. Зерттеу дистилденген су ортасында және бөлме температурасында жүргізілді.

3. Нәтижелер және оларды талқылау.

Полиакрил қышқылы акрил қышқылы (метакрилат, этилметакрилат) және оның эфирлерінің полимерленуінің нәтижесінде түзілетін әлсіз полиқышқыл. Полиакрил қышқылы суда ерімейді [8]. Полианиондарға поли-4-винилпиридин, поли-2-метил-5-винилпиридин полиэтиленимин жатады. Поли-4-винилпиридин-құрылымында (C=C) винил тобы және пиридин сақинасы бар, 4-винилпиридин мономерінің полимерленуі нәтижесінде түзілетін полимер, қолдану аясы кең және жиі

полиэлектролиттер қызметін атқарады. Құрылымына қосымша химиялық топтарды енгізу арқылы, химиялық қасиетін өзгертуге болады. П2М5ВП - негізгі тізбегінде пиридин сақиналары бар синтетикалық полимер. Поли-2-метил-5-винилпиридин пиридин сақинасының болуына байланысты әртүрлі заттармен әрекеттесу қабілетіне ие. Полиэтиленимин – металдармен тұрақтылығы жоғары хелатты қосылыстар түзе алады. ПЭИ жоғары реакциялық қабілеттілігі құрылымындағы азот атомында бөлінбеген электрон жұптарының болуы мен және азот атомымен біріккен сутек атомының жоғары қозғалыштығымен түсіндіріледі [11]. Бұрынғы жүргізілген зерттеулер барысында диссоциациялану константасының мәні ерітіндідегі полиэлектролиттің концентрациясына емес, тек табиғатына және температураға тәуелді деп қабылданған.

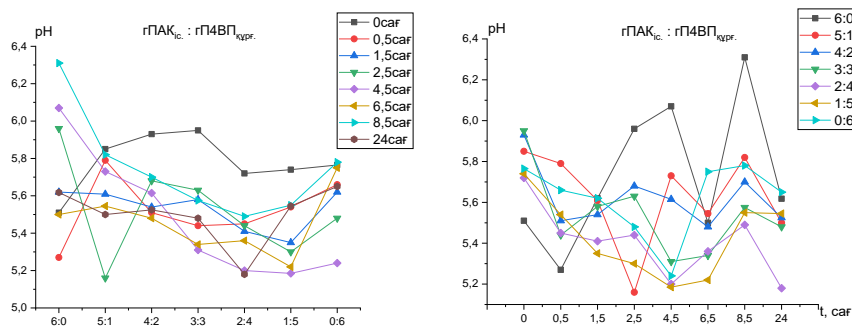
гПАК:гП4ВП интергельді жүйесінің электрөткізгіштігінің уақытқа тәуелділігі 1-ші суретте көрсетілген. Интергельді жүйенің 5:1 қатынасында ортаның электрөткізгіштігі бір тәуліктен соң максималды мәнге жеткен. Бұл полиакрил қышқылы гидрогелі мен поли-4-винилпиридин арасындағы атомға тән ұзақ мерзімді әрекеттесудің нәтижесі болуы мүмкін және бұл көрсеткіш ерітіндідегі зарядталған бөлшектердің жоғары концентрациясын көрсетеді. 5:1 қатынасында өзара әрекеттесу үшін карбоксил және амин топтарының оңтайлы мөлшері болуы мүмкін, бұл иондық байланыстың максималды түзілуіне және сәйкесінше электр өткізгіштігінің жоғарылауына және рН мәнінің өзгеруіне алып келеді. Суреттен 2:4 қатынасында 8.5 сағаттан соң, электрөткізгіштіктің төмендегенін байқалады. Мұндай өзгерісті, карбоксил топтарының диссоциациялануын тежейтін және гидрогель иондарының еркін қозғалуына бөгет жасайтын комплекстердің түзілуімен түсіндіруге болады.



Сурет 1 - гПАК_с:гП4ВП_{күрг.} интергельді жүйесінің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

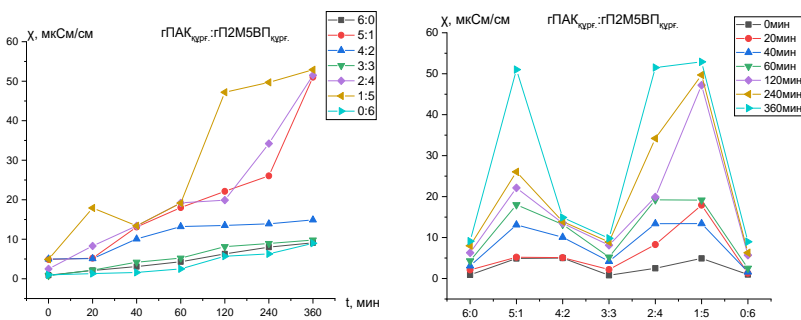
гПАК:гП4ВП интергельді жүйесіндегі сутегі ионы концентрациясының уақытқа қатысты өзгеруі 2-суретте келтірілген. 5:1 қатынасында сулы ортаның рН мәнінің 2.5 сағатта минималды мәнге төмендеуі сутегі иондарының концентрациясының жоғарылауын көрсетеді. Бұл поли-4-

винилпиридиннің полимер тізбегіндегі азотты құрайтын топтар сулы ортадан протондарды қабылдап, оң зарядталған иондарға айналуының нәтижесінде гП4ВП негізгі топтарының протондануын және протондау процесі кезінде ерітіндіге сутегі иондары бөлінетіндіктен рН мәні төмендеген. Демек, бір мезгілде рН көрсеткішінің төмендеуі және электр өткізгіштіктің жоғарылауы екі параллельді процесті ПАҚ қышқылдық топтарының диссоциациялануы және П4ВП негізгі топтарының протондануын көрсетеді, бұл жүйедегі зарядталған бөлшектердің санының көбеюіне және сутегі иондарының түзілуіне байланысты рН көрсеткішінің азаюына алып келеді.



Сурет 2 - гПАК_{ic}:гП4ВП_{кypf.} интергельді жүйесінің сулы ортасының рН көрсеткішінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

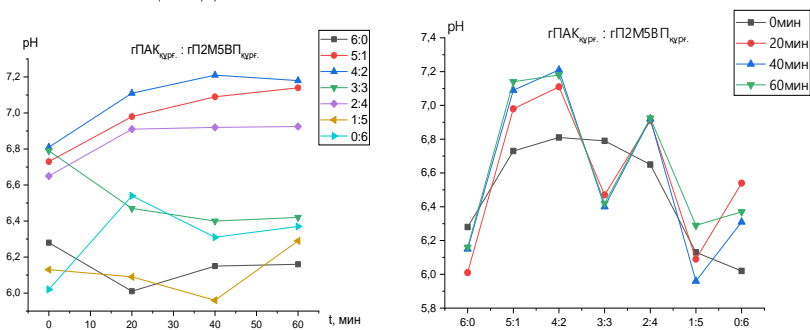
3-суретте гПАК_{кypf.}:гП2М5ВП_{кypf.} интергельді жүйенің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі көрсетілген. Интергельді жүйенің электрөткізгіштігінің жоғары мәндері, сулы ортадағы Н⁺ иондарының бар болуын көрсетеді. Н⁺ иондарының концентрациясы карбоксил топтарының диссоциациялану дәрежелеріне тәуелді. Сонымен қатар, жүйедегі П2М5ВП полинегізді гидрогель Н⁺ ионын өзіне қосып алып, оңай зарядталған күйге көше алады. Оның зарядталған күйге көшуі, ерітіндідегі иондалған бөлшектердің концентрациясының төмендеуіне себеп болады.



Сурет 3 - гПАК_{кypf.}:гП2М5ВП_{кypf.} интергельді жүйесінің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Зерттеудің 4-ші сағатынан кейін, гидрогельдердің 5:1 қатынасында электрөткізгіштіктің мәнінің лезде өсуін, гидрогельдердің қашықтан бір – біріне әсер етуі нәтижесінде, қосымша OH^- иондарының пайда болуы нәтижесінде деп түсіндіруге болады.

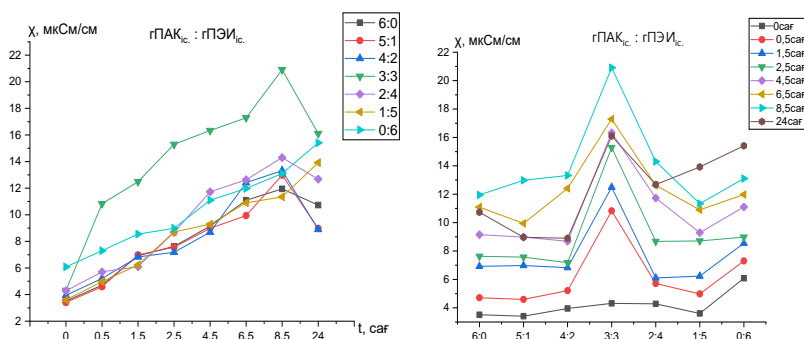
4-суретте $\text{rPAK}_{\text{күрг.}}:\text{rP2M5BП}_{\text{күрг.}}$ интергельді жүйесі ерітінділерінің рН шамасының уақытқа тәуелділігі көрсетілген. Гидрогельдердің 5:1 қатынасында рН мәні баяу өскен. 2:4 қатынасында сулы ортаның рН шамасы өсіп, ары қарай сутек концентрациясы бірқалыпты қалған, ал электрөткізгіштік мәні жоғарылағаны байқалады, демек ерітіндідегі негіздің су молекулаларымен әрекеттесуі нәтижесінде гидроксил иондары пайда болған. 1:5 қатынасында OH^- иондарының концентрациясының 2 сағаттың ішінде артуы нәтижесінде, жүйедегі электрөткізгіштік максималды мәнге жеткен. 3:3 және 1:5 қатынастарында H^+ иондарының концентрациясының жоғары екені байқалады.



Сурет 4 - $\text{rPAK}_{\text{күрг.}}:\text{rP2M5BП}_{\text{күрг.}}$ интергельді жүйесінің сулы ортасының рН көрсеткішінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Оны, гидроксил иондары протондармен бейтараптанып, карбоксил топтарының диссоциациялану дәрежесінің орташа болуынан, ерітіндіде катиондардың жоғары концентрациясы сақталуымен түсіндіруге болады.

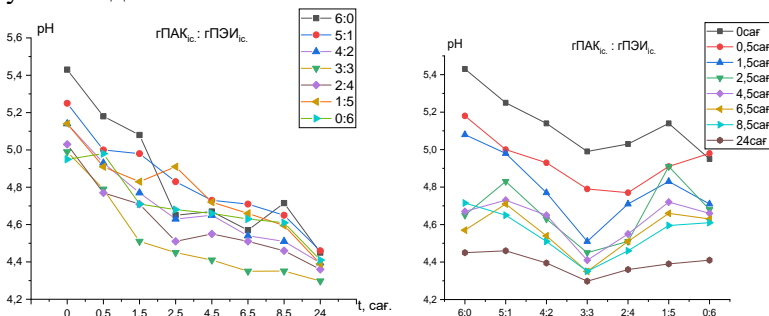
$\text{rPAK}:\text{rПЭИ}$ интергельді жүйесінің гидрогельдері ісінген және құрғақ күйінде бір тәулік бойында зерттелді. $\text{rPAK}_{\text{іс}}-\text{rПЭИ}_{\text{іс}}$ ісінген күйдегі интергель жүйесінде әлсіз полинегіз гидрогель полиэтиленимин бар. Полиэтиленимин H^+ ионын оңай қосып алып, зарядталған күйге көшеді. Процесс негізінде ерітіндідегі иондалған бөлшектердің концентрациясының төмендеуіне алып келеді.



Сурет 5 - гПАК_{ic}:гПЭИ_{ic} интергельді жүйесінің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Гидрогельдердің 3:3 қатынасында 8.5 сағаттан кейін анықталған электрөткізгіштіктің максималды мәні рН минималды мәніне дерлік сәйкес келеді. Бұл П4ВП гидрогелінің негізгі топтарының протондануы өзінің ең жоғары тиімділігіне жеткен кезде жүйедегі диссоциация мен ассоциация процестері арасындағы тепе-теңдіктің орнауына байланысты болуы мүмкін, бұл зарядталған иондардың санын және, сәйкесінше, электр өткізгіштігін арттырды. Зерттеудің 8.5 сағатында гПАК_{ic}:гПЭИ_{ic} гидрогельдерінің 1:5 қатынасында электрөткізгіштік ең төменгі мәнге ие болған, себебі протондардың бірігу процесі, карбоксил топтардың диссоциация процесіне қарағанда үстемірек жүрген. 8.5 сағаттан кейін гидрогельдердің 2:4 қатынасында ортаның электрөткізгіштігі төмендеген. Демек, ОН⁻ иондарының концентрациясының азайғандығын болжауға болады.

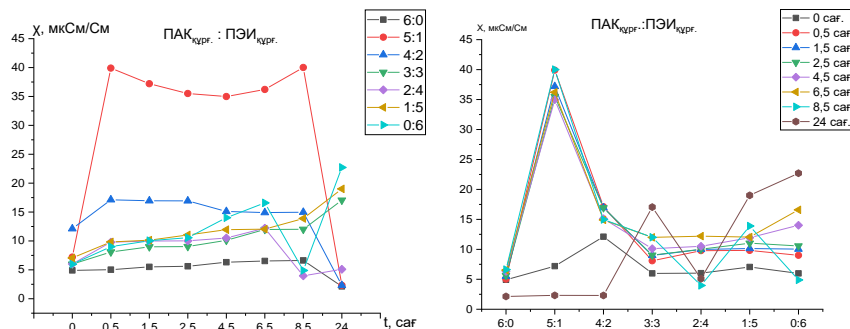
6-суретте гПАК_{ic}:гПЭИ_{ic} интергельді жүйесінің рН шамасының гидрогельдердің әр түрлі мольдік қатынастарына тәуелділігі бейнеленген. Гидрогельдердің 1:5 және 5:1 қатынастарында сулы ортаның рН мәні ерітіндіде гидроксил иондарының мөлшері басым екенін тұжырымдауға мүмкіндік береді. Мұның себебін, азот атомының су молекуласымен әрекеттесуі нәтижесінде, сулы ерітіндіге гидроксил иондарының бөліне жүруімен және қатар тағы басқа реакцияның жүруі есебі салдарынан деп түсіндіруге болады.



Сурет 6 - гПАК_{ic}:гПЭИ_{ic} интергельді жүйесінің сулы ортасының рН көрсеткішінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Нәтижесінде, бос протон азотпен қосылыс түзіп, ерітіндідегі оң зарядталған иондар концентрациясы төмендейді.

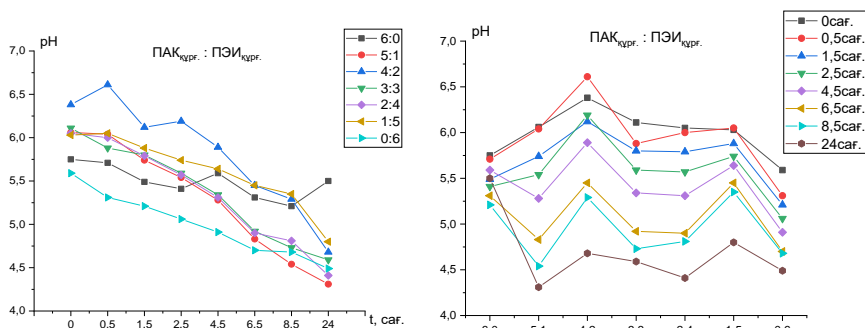
7-суретте $\text{гПАК}_{\text{күрг.}}$ - $\text{гПЭИ}_{\text{күрг.}}$ интергельді жүйенің меншікті электрөткізгіштігінің сулы ортадағы уақытқа тәуелділігі көрсетілген. Меншікті электрөткізгіштік уақыт өте максималды мәнге жетіп, ары қарай төмендей бастайды.



Сурет 7- $\text{гПАК}_{\text{күрг.}}$ - $\text{гПЭИ}_{\text{күрг.}}$ интергельді жүйесінің сулы ортасының меншікті электрөткізгіштігінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Көрсетілген қисықта максимум нүктенің болуы, күшті электролиттердің сұйытылған ерітінділерінде иондардың қозғалу жылдамдығы концентрацияға аса қатты тәуелді емес екендігін көрсетеді.

8-суретте $\text{гПАК}_{\text{күрг.}}$ - $\text{гПЭИ}_{\text{күрг.}}$ интергельді жүйесі сулы ортасының рН мәні көрсеткіштері келтірілген. Уақыт өте гидрогельдердің барлық қатынасында дерлік рН мәнінің төмендегенін және бұл сутек иондарының концентрациясының жоғарылағанын көрсетеді. Бұл құбылыс ПЭИ гидрогелінің амин топтарының протондануына және сулы ортадағы бос протондар концентрациясының жоғарылауына байланысты. Уақыт өте келе рН мәнінің төмендеуі ерітіндінің қышқылдығының жоғарылауына әкелетін химиялық процестердің пайда болуын көрсетеді. Алайда, 4:2 қатынасында сутектік көрсеткіш 0.5 сағатта біршама жоғарылап, қайта төмендеген, мұнда рН жалпы тенденциядан ауытқу байқалды. Бұл тәжірибенің басында күрделірек химиялық процестің болуы мүмкін екенін көрсетеді. Бұл кезде полимер тізбектерінің диссоциациялануымен байланысты әсерлер ортаның рН-ына толық әсер етпеуі немесе ерітіндінің рН-ын уақытша тұрақтандыратын ион алмасу процесі орын алғандығын болжауға болады.



Сурет 8 - гПАК_{кұрғ.}:гПЭИ_{кұрғ.} интергельді жүйесінің сулы ортасының рН көрсеткішінің уақытқа және гидрогельдердің мольдік қатынастарына тәуелділігі.

Бұл ПЭИ гидрогелінің гидролизі немесе протондарды сіңіре алатын немесе шығара алатын және осылайша сулы ортаның рН деңгейіне әсер ететін аралық құрылымдардың қалыптасуы сияқты басқа процестердің болуын мүмкіндігін көрсетеді. Зерттеудің 24-сағатында, гидрогельдердің 5:1 қатынасында протондардың концентрациясы төмен болғаны байқалады, бұл молекулаішілік ассоциаттардың ыдырауымен түсіндіріледі.

4.Қорытынды

Полиакрил қышқылы негізінде П4ВП, П2М5ВП және ПЭИ гидрогельдерінен құрылған интергельді жүйелерінің электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Ортаның электрөткізгіштігі мен рН мәні гидрогельдердің бір-бірімен қашықтан әсер етуі негізінде уақытқа байланысты өзгереді. Зерттелген сулы ортадағы интергельді жүйелердің электрохимиялық параметрлерінің өзгеруі және қарама-қарсы зарядталған иондар мен бейтарапталған иондар түзуі, гидрогельдер арасында қашықтан әрекеттесу эффектісінің бар болғанын көрсетеді. Күшті электролиттердің меншікті электрөткізгіштік мәні уақытқа қатысты жоғарылайды, белгілі бір максимум мәнге жеткенде қайта төмендей бастайтыны анықталды. Бұл әрекеттесулер барысында макромолекулалар тізбегінде орналасқан ионизацияға және диссоциацияға ұшыраған топтардың ара қатынасы үлкен өзгеріске ұшырайтыны көрсетеді. Бұл өзгерістерге сулы ортаға әр полиэлектролиттен бөлінген төменмолекулалық иондардың өзара әрекеттесуі үлес қосады деп болжам жасалды.

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.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕРГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2*}, Х. Химэрсэн¹,
Б. Тотхусқызы¹, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ю.В. Гражужлявичюс³

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: suleimenova.me@gmail.com

Резюме. *Введение.* В настоящее время гидрогели представляют собой полимерные материалы, пользующиеся повышенным спросом благодаря своим физико-химическим свойствам, и в последние годы большое внимание уделяется изучению их физико-химических свойств [1,2]. *Цель работы* - изучение эффекта дистанционного взаимодействия на электрохимические свойства интергелевых систем содержащие гидрогели полиакриловой кислоты, поли-4-винилпиридин, поли-2-метил-5-винилпиридиновые и полиэтилениминовые гидрогели с различными исходными состояниями. Рассмотрена зависимость электропроводности и показателей pH водных растворов интергелевых систем. *Полученные результаты.* В соотношении 5:1 интергелевой системы гПАК_{наб.}:гП4ВП_{сух.} электропроводность водной среды достигает своего максимального значения через 24 часа. При этом уровень pH в данном соотношении снижается. В соотношениях 5:1, 1:5, и 2:4 гидрогелей ПАК:П2М5ВП максимальное значение электропроводности наблюдался на шестом часу. Максимальное значение pH было достигнуто при соотношении 4:2, что свидетельствует о низкой присутствии азотных гетероатомов в водном растворе. Максимальное значение электропроводности в системе гПАК_{наб.}:гПЭИ_{наб.} в соотношениях 3:3 было достигнута спустя 8,5 часа, в то время pH показал минимальное значение. В исследовании интергелевой системы гПАК_{сух.}:гПЭИ_{сух.} pH водной среды с течением времени уменьшается во всех соотношениях гидрогелей. Отмечено исключение при соотношении 4:2, где pH незначительно повышается через 0,5 часа, после чего снова падает, демонстрируя отклонение от общей тенденции изменения pH. *Вывод.* По результатам проведенных исследований замечено, что удельная электропроводность изменяется во всех мольных соотношениях гидрогелей. В результате исследования установлено, что изменение пар и состояния гидрогелей в межгелевой системе влияет на удельную электропроводность. Эти данные показали, что соотношение ионизированных и диссоциированных групп в цепочке меняется постепенно. Эти показатели доказывают, что по данным интергелевым системам можно получить хорошие сорбенты с высокой селективностью.

Ключевые слова: интергелевая система, гидрогели, удельная электропроводность, дальноедействие, иониты, показатель pH.

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Сулейменова Меруерт Турехановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Химэрсэн Хуангул</i>	<i>Младший научный сотрудник</i>
<i>Тотхусқызы Бахыткул</i>	<i>PhD</i>
<i>Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Гражужлявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

Әдебиеттер тізімі

1. Cao H., Duan L., Zhang Y., Cao J., Zhang K. Current hydrogel advances in physicochemical and biological response-driven biomedical application diversity. *Sig Transduct Target Ther* **2021**, 6, 426. <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00830-x>

2. Ramirez-Alba M.D., Molins-Martinez M., Garcia-Torres J., Romanini M., Macovez R., Perez Madrigal M.M., Aleman C. pH and electrically responsive hydrogels with adhesive property. *React.Funct.Polym.* **2024**, 196, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2024.105841>

3. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engineering Journal of Satbayev University* **2022**, 144, No. 2, 22–27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>
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: Chemistry for Engineering Applications* **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/ma14185402>
6. Jumadilov T. K., ImangazyA.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>
7. Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polymers* **2024**, 16, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>
8. Курбанбаева А.Э., Холмунинова Д.А., Зарипова Р.Ш. Гидрогели на основе акриловой кислоты и диаминасоединений. *Universum: химия и биология* **2023**, 9, No. 111, <https://doi.org/10.32743/UniChem.2023.111.9.15925>
9. Кижняев В.Н., Петрова Е.Л., Покатилов Ф.А., Житов Р.Г., Эдельштейн О.А. Синтез и сетчатого поли-5-винилтетразола и свойства гидрогелей на его основе. *Высокомолекулярные соединения* **2011**, 56, No. 5, 490–495. <https://doi.org/10.1134/S1560090414050078>
10. Liu T., DeSimone J.M., Roberts G.W. Cross-linking polymerization of acrylic acid in supercritical carbon dioxide. *Polymer* **2006**, 47, No. 12, 4276-4281. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.03.103>
11. Semenova A., Vidallon M.L., Follink B., Brown P.L., Tabor R.F. Synthesis and Characterization of Polyethylenimine-Silica Nanocomposite Microparticles. *Langmuir* **2022**, 38, No. 1, 191-202. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c02393>

References

1. Cao H., Duan L., Zhang Y., Cao J., Zhang K. Current hydrogel advances in physicochemical and biological response-driven biomedical application diversity. *Sig Transduct Target Ther* **2021**, 6, 426. <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00830-x>
2. Ramirez-Alba M.D., Molins-Martinez M., Garcia-Torres J., Romanini M., Macovez R., Perez-Madrigal M.M., Aleman C. pH and electrically responsive hydrogels with adhesive property. *React.Funct.Polym.* **2024**, 196, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2024.105841>
3. Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engineering Journal of Satbayev University* **2022**, 144, No.2, 22–27. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.04>
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: Chemistry for Engineering Applications* **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/ma14185402>
6. Jumadilov T. K., ImangazyA.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>

7. Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Haponiuk, J.T., Totkhuskyzy B. Enhanced Lutetium Ion Sorption from Aqueous Solutions Using Activated Ion Exchangers. *Polymers* **2024**, *16*, 220. <https://doi.org/10.3390/polym16020220>
8. Kurbanbaeva A.Je., Holmuminova D.A., Zaripova R.Sh. Gidrogeli na osnove akrilovoj kisloty i diaminasoedinenij. *Universum:himija i biologija* **2023**, *9*, No. 111, (In Russ.). <https://doi.org/10.32743/UniChem.2023.111.9.15925>
9. Kizhnjaev V.N., Petrova E.L., Pokatilov F.A., Zhitov R.G., Edel'shtein O.A. Sintez setchatogo poli-5-viniltetrazola i svojstva gidrogelej na ego osnove. *Vysokomolekuljarnye soedinenija* **2014**, *56*, No. 5, 490-495.(In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1560090414050078>
10. Liu T., DeSimone J.M., Roberts G.W. Cross-linking polymerization of acrylic acid in super critical carbon dioxide. *Polymer* **2006**, *47*, No. 12, 4276-4281. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.03.103>.
11. Semenova A., Vidallon M.L., Follink B., Brown P.L., Tabor R.F. Synthesis and Characterization of Polyethylenimine-Silica Nanocomposite Microparticles. *Langmuir* **2022**, *38*, No.1, 191-202. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c02393>