

FTAMP 61.59.31

А. Азимов¹ – негізгі автор, | ©
Г.М. Изтлеуов², А.А. Болысбек³, А.М. Есимова⁴



ORCID

^{1,4}Phd, доцент, ²Хим. ғылым. канд., профессор, ³Техн. ғылым. канд., доцент

¹<https://orcid.org/0000-0002-1316-5854> ²<https://orcid.org/0000-0002-5722-342X>

³<https://orcid.org/0000-0001-8708-2608> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-2456-0497>



^{1,2,3,4}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті



Шымкент, Қазақстан



¹gani5@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/UWJQ4973>

ТАБИҒИ КОМПОНЕНТТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН СУПЕРСІЦІРГІШ ГИДРОГЕЛЬДЕР ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа. Бұл мақалада табиғи компоненттерге негізделген суперсіңіргіш гидрогельдердің химиялық технологиясы зерттелген. Зерттеу нысаны крахмал, акриламид және каолин негізінде синтезделген композиттік гидрогельдер болды. Крахмал биоыдырайтын полимерлік матрица ретінде қолданылса, акриламид гидрофильдік қасиеттерді және ісіну дәрежесін арттыру үшін енгізілді. Қабатты алюмосиликатты минерал каолин гидрогель құрылымының механикалық беріктігін және термиялық тұрақтылығын жақсартатын бейорганикалық толтырғыш ретінде қолданылды. Инициатор мен айкастырып тігуші агент концентрациясының гидрогельдің ісіну дәрежесіне әсері зерттелді. Эксперименттік деректер инициатор концентрациясы 0,8–1,0 масс.% болғанда гидрогельдің ісіну дәрежесі жоғары мәнге жететінін көрсетті. Бұл құбылыс бос радикалдардың түзілу қарқындылығының артуымен және полимер тізбектерінің тиімді қалыптасуымен түсіндіріледі. Инициатор мөлшерінің шамадан тыс артуы торлы құрылымның тығыздалуына және ісіну қабілетінің төмендеуіне әкеледі. Инициатор мөлшері 1 масс.% болған жағдайда гидрогельдің су сіңіру қабілеті 890 г/г құрады. NaCl концентрациясының артуы гидрогельдің су сіңіру қабілетін төмендетті. Композиттік гидрогельдің элементтік құрамы энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия әдісімен анықталып, органикалық полимер матрицасының қалыптасқаны дәлелденді. Алынған гидрогельдер экологиялық қауіпсіз және ауыл шаруашылығында перспективалы материалдар болып табылады.

Тірек сөздер: гидрогельдер, крахмал, акриламид, каолин, суперсіңіргіш материалдар, су ұстау.



Азимов, А. Табиғи компоненттерге негізделген суперсіңіргіш гидрогельдер химиялық технологиясы [Мәтін] / А. Азимов, Г.М. Изтлеуов, А.А. Болысбек, А.М. Есимова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №3(93). – Б.401-410. <https://doi.org/10.55956/UWJQ4973>

Кіріспе. Тұрақты даму тұжырымдамасының негізгі мақсаттарының бірі – барлық халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету және су ресурстарын ұтымды әрі тиімді пайдалану болып табылады [1-2]. Орталық Азия өңірінде су қорының жыл сайын азаюы ауыл шаруашылығы саласында су үнемдейтін технологияларға көшу қажеттілігін күшейтіп отыр [3-4]. Су ресурстарын тиімді пайдаланудың перспективалы бағыттарының бірі – жоғары ісінгіш полимерлік гидрогельдерді қолдану болып саналады [5-6].

Қазіргі уақытта ғалымдар крахмал негізіндегі сополимерлерден жаңа буындағы полимерлік гидрогельдерді алу бағытында белсенді зерттеулер жүргізуде. Бұл зерттеулер белгілі бір физика-химиялық қасиеттерге ие, жоғары тиімді гидрогельдерді полисахаридтер мен акрил мономерлерін кополимерлеу арқылы синтездеуді, сондай-ақ ауыл шаруашылығында қолдану кезінде су ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік беретін технологияларды әзірлеуді көздейді [7-8].

Сонымен қатар, жергілікті шикізат көздеріне негізделген, атап айтқанда химия өнеркәсібінің ірі тоннажды екіншілік өнімдерін пайдалану арқылы экологиялық қауіпсіз әрі экономикалық тұрғыдан тиімді жоғары ісінгіш гидрогельдерді өндіру технологияларын жасау өзекті мәселе болып отыр [9-10].

Гидрогельдердің ісіну құбылысы көптеген зерттеушілердің еңбектерінде жан-жақты қарастырылған. Полииондық гелдерге тән бекітілген зарядтардың болуы полимердің суда айтарлықтай ісінуіне ықпал ететіні белгілі [11-13]. Бұл құбылыс гель мен сыртқы ерітінді арасында орнайтын Доннан тепе-теңдігімен түсіндіріледі, ал ерітіндінің иондық күші ісіну дәрежесіне елеулі әсер етеді [14-15].

Үін және оның әріптестері полиакрил қышқылы–акриламид және О-карбоксиметилхитозан негізінде өзара өтпелі полимерлік тор құрылымына ие аса кеуекті гидрогельдерді синтездеген. Зерттеу нәтижелері бойынша гидрогельдердің ісіну қабілеті О-карбоксиметилхитозан мөлшеріне, айкастырып тігуші агент санына және тігудің ұзақтығына тәуелді екені анықталған [14-17].

Гидрогельдердің су сіңіру қабілетінің артуына олардың құрамындағы гидрофильді функционалдық топтардың болуы, полимер тізбектерінің серпімділігі және тізбектер арасындағы кеңістіктің жеткілікті болуы ықпал етеді. Осы ерекше қасиеттеріне байланысты гидрогельдер бір реттік гигиеналық бұйымдарда, ауыл шаруашылығы мен көгалдандыруда, су өткізбейтін материалдарда және шаң сіңіргіш жүйелерде кеңінен қолданылады.

Биологиялық негіздегі гидрогельдер табиғи жолмен ыдырауға бейім болғандықтан, соңғы жылдары олар синтетикалық гидрогельдерге балама ретінде қарқынды зерттеліп келеді. Биогидрогельдерді өндіруде негізгі шикізат көзі ретінде полисахаридтер қолданылады. Әртүрлі зерттеулерде крахмал, карбоксиметилцеллюлоза, альгинат және хитозан кеңінен пайдаланылған, олардың ішінде крахмал гидрогельдер өндірісінде ең жиі қолданылатын полисахарид болып табылады.

Целлюлоза – жер бетіндегі ең көп таралған жаңартылатын табиғи ресурс болып табылады және болашақта негізгі химиялық шикізат көзіне айналады деп күтілуде [18-19]. Құрамында көп мөлшерде гидроксил топтарының болуы целлюлозаны кеңістіктік торлы құрылымға ие гидрогельдер алуда тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, целлюлоза экологиялық таза әрі арзан материал ретінде мұнай-химия

өнімдеріне негізделген полимерлерді алмастыра алатын перспективалы балама болып табылады.

Суперсіңіргіш гидрогельдер дәстүрлі ылғал сіңіргіш материалдарға қарағанда суды әлдеқайда көп мөлшерде сіңіре алады. Крахмал негізінен радикалды полимерлену реакциялары арқылы полиакриламид, полиакрил қышқылы және басқа да мономерлермен әрекеттеседі [20-21]. Крахмалға негізделген гидрогельдерді әзірлеу синтетикалық полимерлердің қоршаған ортаға тигізетін кері әсерін азайтуға бағытталған.

Осы жұмыстың мақсаты – табиғи компоненттерге (крахмал, акриламид және каолин) негізделген суперсіңіргіш композиттік гидрогельдерді синтездеудің химиялық технологиясын әзірлеу, сондай-ақ синтезделген материалдардың су сіңіру, ісіну және термиялық тұрақтылық қасиеттеріне инициатор мен айкастырып тігуші агент концентрациясының әсерін кешенді түрде зерттеу. Сонымен қатар, тұз ерітінділері ортасының гидрогельдердің су сіңіру қабілетіне әсерін бағалау және алынған гидрогельдердің ауыл шаруашылығында, әсіресе топырақтың ылғал ұстау қабілетін арттыруда қолданылу перспективаларын анықтау көзделеді.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Судың сіңірілу дәрежесін анықтау әдісі. Гидрогельдердің суды сіңіру қабілеті бөлме температурасында дистилденген суда зерттелді. Үлгілер толық ісінгеннен кейін судан алынды. Гидрогелдің су сіңіру сыйымдылығы (Q_{H_2O}) келесі теңдеу арқылы есептелді:

$$Q_{H_2O} = (m_2 - m_1) / m_1, \quad (1)$$

мұндағы: m_1 – гидрогелдің құрғақ күйдегі массасы, ал m_2 – ісінген күйдегі массасы.

Қолданылған материалдар.

Крахмал ($C_6H_{10}O_5$). Зерттеу барысында «Golden Corn» (Ташкент крахмал зауыты) өндіретін жүгері крахмалы пайдаланылды. Ол ақ түсті, қатты ұнтақ түрінде болады. Молярлық массасы – $162,14 \cdot n$ г/моль, тығыздығы – $1,5$ г/см³.

Каолин. Каолин ретінде Өзбекстан Республикасының Ташкент облысы, Ангрен қаласында орналасқан «Angren Kaolin» ЖШС өндірістік кешенінің өнімі қолданылды. Бұл – Орталық Азиядағы жалғыз каолин байыту фабрикасы. Кәсіпорын АКФ-78, АХ-30 және АСТ-10 маркалы каолиндерді шығарады. Каолинит және каолинит тобына жататын минералдар (диксит, галлуазит және басқалары) қабатты құрылымға ие. Әрбір қабат кремний-оттекті тетраэдрлік және алюминий-оттек-гидроксилді октаэдрлік торлардың біріккен жүйесінен тұрады.

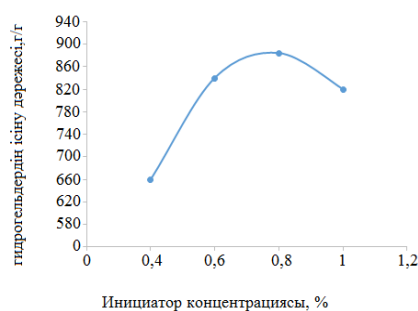
pH мәнін анықтау. Орта реакциясын анықтау үшін pH-метр немесе индикаторлық қағаз қолданылды.

Дифференциалды сканерлеуші калориметрия (DSC). Дифференциалды сканерлеуші калориметрия полимер материалдарының қыздыру кезіндегі жылулық қасиеттерін зерттеуге арналған әдіс болып табылады. Бұл тәсіл арқылы кристалдық полимерлердің балқу температурасы немесе шынылану ауысуы анықталады. DSC қондырғысы өлшеу камерасынан және басқарушы компьютерден тұрады. Камерада екі тигель қыздырылады: біріншісінде зерттелетін үлгі орналасса, екіншісі эталон ретінде бос күйінде қолданылады. Температуралық режим мен қыздыру жылдамдығы компьютер арқылы реттеледі.

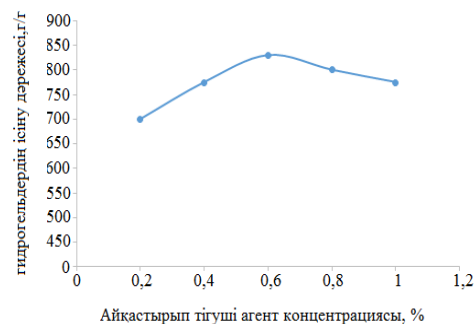
Композиттік материалдардың құрылымын ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу. Инфрақызыл (ИҚ) спектроскопия инфрақызыл аймақтағы сәуле шығару, жұтылу және шағылу спектрлерін тіркеу мен талдауға негізделген әдіс болып табылады. Композиттік үлгілердің шамамен 12 мкм қалыңдықтағы қабықшаларынан Shimadzu Irtaffinity (Жапония) аспабында ИҚ-спектрлер алынды. Жоғары ісінгіш гидрогельдердің ИҚ-спектрлерінде мономерлік буындарға тән функционалдық топтарға сәйкес жұтылу жолақтары байқалды [20-21].

Зерттеу нәтижелері. Синтезделген гидрогельдердің ісіну дәрежесіне инициатор мен айқастырып тігуші агент концентрациясының әсері 1 және 2-суреттерде көрсетілген. 1-сурет деректері инициатор мөлшері артқан сайын гидрогельдің су сіңіру қабілетінің айқын өсетінін, алайда белгілі бір шекке жеткеннен кейін бұл көрсеткіштің төмендейтінін көрсетеді. Атап айтқанда, инициатор концентрациясы шамамен 0,8–1,0 масс.% аралығында болған кезде гидрогельдің ісіну дәрежесі ең жоғары мәнге жетеді. Бұл құбылыс бос радикалдардың түзілу қарқындылығының артуымен және полимер тізбектерінің тиімді қалыптасуымен түсіндіріледі. Ал инициатор мөлшерінің шамадан тыс артуы қысқа тізбекті құрылымдардың түзілуіне әкеліп, торлы құрылымның тиімділігін төмендетеді. Инициатордың мөлшері 1 масс.% болған жағдайда гидрогельдің су сіңіру қабілеті 890 г/г-ға жететіні анықталды. Осы деректерге сүйене отырып, суды сіңіру тиімділігі инициатордың шамамен 1 масс.% концентрациясында ең жоғары мәнге ие болады деп тұжырым жасауға болады.

2-суретте айқастырып тігуші агент концентрациясының әсері бейнеленген. Айқастырып тігуші агент мөлшері 0,4-тен 0,8 масс.% дейін артқанда гидрогельдің ісіну дәрежесі жоғарылайды. Бұл жағдай үшөлшемді торлы құрылымның қалыптасуы және су молекулаларын ұстауға қолайлы кеңістіктің пайда болуымен байланысты. Дегенмен, айқастырып тігуші агенттің одан әрі артуы тордың шамадан тыс тығыздалуына әкеліп, гидрогельдің ісіну қабілетін төмендетеді. 2-суреттен айқастырып тігуші агенттің мөлшері 0,4-тен 0,8 масс.% аралығында артқан сайын гидрогельдің су сіңіру қабілеті де өсетіні байқалады. Айқастырып тігуші агенттің 0,8 масс.% құрамында су сіңіру көрсеткіші 890 г/г мәніне жетеді.



Сурет 1. Инициатор концентрациясының гидрогельдердің ісіну дәрежесіне әсері

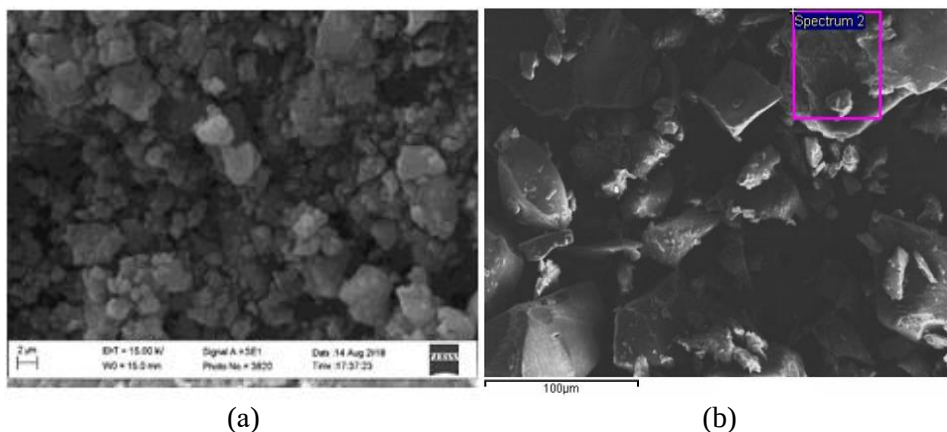


Сурет 2. Айқастырып тігуші агент концентрациясының гидрогельдердің ісіну дәрежесіне әсері

Осы нәтижелер инициатор мен айқастырып тігуші агенттің оңтайлы мөлшерін таңдау гидрогельдердің жоғары су сіңіру қасиеттерін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқаратынын көрсетеді

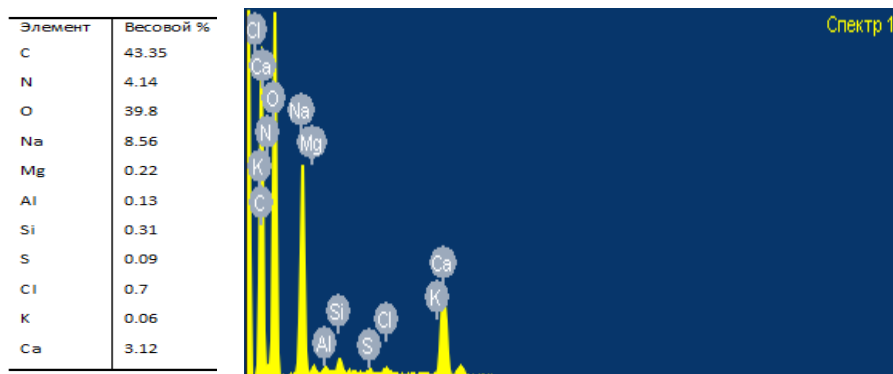
Гидрогельдердің морфологиялық құрылымының қалыптасу заңдылықтарын зерттеу барысында электрондық микроскопия әдістерін қолдану аса маңызды болып табылады. Гидрогельдердегі кеуекті құрылымның түзілу механизмі негізінен реакциялық ортада қолданылатын инертті сұйылтқыштың сипатына (кеуек түзілу үдерісі) және айқастырып тігуші агенттің мөлшеріне тәуелді.

Сонымен қатар, полимерленудің бастапқы сатыларында полимер тізбектерінің ұзаруы жүйенің морфологиялық біркелкілігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Синтезделген гидрогельдердің морфологиялық ерекшеліктерін анықтау мақсатында олардың беткі құрылымы сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен зерттелді (3-сурет).



Сурет 3. Каолиннің SEM-бейнесі (a), крахмал/АА/К композитінің SEM-бейнесі (b)

Сканерлеуші электрондық микроскопия нәтижелері минералдар мен композиттік материалдардың полимер матрицасында реакцияға түспеген каолин бөлшектерінің біркелкі таралғанын көрсетеді (4-сурет). Алынған микросуреттерге талдау жасау синтезделген сорбенттердің гель тәрізді құрылымға ие екенін және олардың бетінде микрокеуектердің бар екенін дәлелдейді.



Сурет 4. Ст/АА/К гидрогельдерінің элементтік талдау деректері

Берілген суретте синтезделген композиттік гидрогельдің элементтік құрамы энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдісі арқылы анықталған. Спектр нәтижелері материал құрамында көміртек (C), оттегі (O) және азот (N) элементтерінің басым екенін көрсетеді, бұл органикалық полимер матрицасының крахмал мен акриламид негізінде қалыптасқанын дәлелдейді. Көміртектің жоғары үлесі ($\approx 43,35\%$) полимер тізбектерінің негізгі құрылымдық қаңқасын сипаттайды, ал оттектің айтарлықтай мөлшері ($\approx 39,8\%$) гидроксил, карбонил және эфирлік функционалдық топтардың бар екенін көрсетеді.

Азот элементінің болуы ($\approx 4,14\%$) акриламид буындарының және амидтік топтардың композит құрылымына сәтті енгізілгенін растайды. Сонымен қатар спектрде натрий (Na), кальций (Ca), кремний (Si), алюминий (Al), магний (Mg), күкірт (S), хлор (Cl) және калий (K) элементтерінің іздік мөлшерде кездесуі байқалады. Кремний мен алюминийдің анықталуы композит құрамында каолин минералының бар екенін дәлелдейді, ал кальций мен натрийдің болуы минералды қоспалар мен реакциялық ортаның әсерімен байланысты болуы мүмкін.

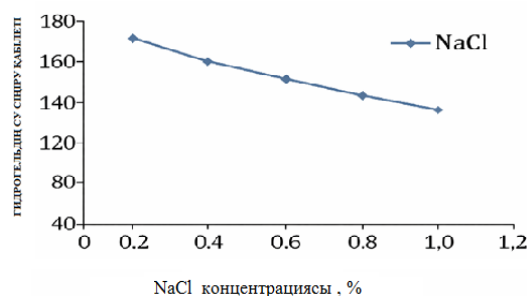
Жалпы алғанда, EDS талдау нәтижелері синтезделген гидрогельдің көпкомпонентті композиттік жүйе екенін және органикалық полимер матрицасының минералды каолинмен тиімді түрде біріктірілгенін көрсетеді. Бұл элементтік құрам материалдың жоғары су сіңіру және тұрақты құрылымдық қасиеттерін қамтамасыз етеді.

Зерттеу нәтижелерін талқылау. Гидрогельдерді синтездеу барысында құрамына кремний оксидтерін қамтитын каолинді енгізу полимерлену үдерісінде байланыстырушы рөл атқарып, полимердің молекулалық массасының артуына, сондай-ақ оның механикалық беріктігі мен термиялық тұрақтылығының жақсаруына ықпал етеді. Сонымен қатар, минералдық қоспалардың қосылуы гидрогельдердің су сіңіру және ылғалды ұстап тұру қасиеттерін жақсартып қана қоймай, материалдың өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Алайда каолин мөлшерінің шамадан тыс артуы оның құрамындағы қосымша оксидтердің полимер тізбектерінің айқастырып тігу нүктелеріне әсер етуіне алып келеді. Бұл жағдай полимердің молекулалық массасының төмендеуіне және соның салдарынан гидрогельдің су сіңіру қабілетінің азаюына себеп болады. Сонымен бірге, ерітіндідегі иондар концентрациясының артуы орта тығыздығын жоғарылатып, гидрогельдердің ісіну дәрежесінің кемуіне әкеледі.

5-суретте тұз ерітінділерінің гидрогельдің су сіңіру қасиетіне әсері көрсетілген. Зерттеу нәтижелері ерітіндідегі ас тұзының концентрациясы артқан сайын гидрогельдің ісіну қабілетінің төмендейтінін айқын дәлелдейді. Атап айтқанда, 1% NaCl ерітіндісінде гидрогельдің су сіңіру көрсеткіші 165 г/г құрады.

Берілген графикте натрий хлориді (NaCl) ерітіндісінің концентрациясы өзгерген кездегі гидрогельдің су сіңіру қабілетінің тәуелділігі көрсетілген. Нәтижелер тұз концентрациясы артқан сайын гидрогельдің су сіңіру көрсеткішінің біртіндеп төмендейтінін айқын дәлелдейді. Атап айтқанда, төмен концентрациялы тұз ерітінділерінде гидрогель жоғары деңгейде ісініп, су молекулаларын тиімді түрде байланыстырады, ал NaCl мөлшері ұлғайған сайын бұл қабілет айтарлықтай әлсірейді.



Сурет 5. NaCl концентрациясының гидрогельдің су сіңіру қабілетіне әсері

Бұл құбылыс ерітіндідегі иондардың концентрациясының артуымен тікелей байланысты. Na^+ және Cl^- иондарының көбеюі осмотық қысымның төмендеуіне және полимер тізбектерінің айналасындағы гидратациялық қабаттың бұзылуына әкеледі. Нәтижесінде су молекулаларының гидрогель құрылымына енуі қиындайды, ал үшөлшемді тордың кеңею дәрежесі шектеледі. Сонымен қатар, тұз иондары полимер тізбектеріндегі функционалдық топтармен электростатикалық өзара әрекеттесіп, торлы құрылымның жиырылуына себеп болуы мүмкін.

Алынған деректер гидрогельдердің су сіңіру қасиеттері ерітіндінің иондық құрамына өте сезімтал екенін көрсетеді. Бұл нәтиже синтезделген гидрогельдердің тұзды орта жағдайында қолданылу мүмкіндігін бағалауда және оларды ауыл шаруашылығы мен экологиялық технологияларда тиімді пайдалану бағыттарын анықтауда маңызды болып табылады.

Қорытынды. Синтезделген гидрогельдердің ісіну дәрежесіне инициатор мен айкастырып тігуші агент концентрациясының әсері зерттеген кезде, инициатор концентрациясы шамамен 0,8–1,0 масс.% аралығында болған кезде гидрогельдің ісіну дәрежесі ең жоғары мәнге жететіні анықталды. Бұл құбылыс бос радикалдардың түзілу қарқындылығының артуымен және полимер тізбектерінің тиімді қалыптасуымен түсіндіріледі. Ал инициатор мөлшерінің шамадан тыс артуы қысқа тізбекті құрылымдардың түзілуіне әкеліп, торлы құрылымның тиімділігін төмендетеді. Инициатордың мөлшері 1 масс.% болған жағдайда гидрогельдің су сіңіру қабілеті 890 г/г-ға жететіні анықталды. Осы деректерге сүйене отырып, суды сіңіру тиімділігі инициатордың шамамен 1 масс.% концентрациясында ең жоғары мәнге ие болады деп тұжырым жасауға болады. NaCl тұз концентрациясы артқан сайын гидрогельдің су сіңіру көрсеткішінің біртіндеп төмендейтінін айқын дәлелдейді. Атап айтқанда, төмен концентрациялы тұз ерітінділерінде гидрогель жоғары деңгейде ісініп, су молекулаларын тиімді түрде байланыстырады, ал NaCl мөлшері ұлғайған сайын бұл қабілет айтарлықтай әлсірейді.

Зерттеу нәтижелері бойынша композиттік гидрогельдің элементтік құрамы энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдісі арқылы анықталған. Спектр нәтижелері материал құрамында көміртек (C), оттек (O) және азот (N) элементтерінің басым екенін көрсетеді, бұл органикалық полимер матрицасының крахмал мен акриламид негізінде қалыптасқанын дәлелдейді. Көміртектің жоғары үлесі ($\approx 43,35\%$) полимер тізбектерінің негізгі құрылымдық қаңқасын сипаттайды, ал оттектің айтарлықтай мөлшері ($\approx 39,8\%$) гидроксил, карбонил және эфирлік функционалдық топтардың бар екенін көрсетеді. Ең жоғары көрсеткіштерге ие суперсіңіргіш композит 1

масс.% калий персульфаты, 0,8 масс.% метилен-бис-акриламид және 2 масс.% каолиннің сулы ерітіндісі қолданылған жағдайда алынатыны дәлелденді. Гидрогельдің ісіну жылдамдығы анықталып, оның ылғал сіңіру қабілеті 890 г/г мәніне дейін жететіні көрсетілді.

Әдебиеттер тізімі

1. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2023. – New York: United Nations, 2023. – DOI: 10.18356/9789213588329.
2. UNESCO World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. – Paris: UNESCO, 2023. – DOI: 10.18356/9789231005762.
3. Dukhovny V.A., de Schutter J. Water in Central Asia: Past, Present, Future. – CRC Press, 2019. – DOI: 10.1201/9780429290211.
4. Abdullaev I., Rakhmatullaev S. Water management in Central Asia: Research challenges and opportunities // International Journal of Water Resources Development. – 2020. – Vol. 36, No. 2. – P. 239–256. – DOI: 10.1080/07900627.2019.1579979.
5. Buchholz F.L., Graham A.T. Modern Superabsorbent Polymer Technology. – Weinheim: Wiley-VCH, 1998. – DOI: 10.1002/9780470512717.
6. Zohuriaan-Mehr M.J., Kabiri K. Superabsorbent polymer materials: A review // Iranian Polymer Journal. – 2008. – Vol. 17, No. 6. – P. 451–477. – DOI: 10.1007/s13726-008-0035-8.
7. El Idrissi A., Channab B., Essamlali Y., Zahouily M. Superabsorbent hydrogels based on natural polysaccharides // International Journal of Biological Macromolecules. – 2024. – Vol. 254. – Art. 127809. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127809.
8. Zhu J., Liu X., Zhang Y., Chen D. Recent advances in superabsorbent hydrogels derived from natural polymers // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2024. – Vol. 72, No. 4. – P. 987–996. – DOI: 10.1021/acs.jafc.3c08071.
9. Rana D., Verma N., Kaur P. Natural polymer-based hydrogels: Design and applications // Progress in Polymer Science. – 2020. – Vol. 111. – Art. 101314. – DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2020.101314.
10. Singh R., Kumar P. Eco-friendly superabsorbent hydrogels for soil water retention // Materials Today Sustainability. – 2022. – Vol. 17. – Art. 100115. – DOI: 10.1016/j.mtsust.2022.100115.
11. Flory P.J. Principles of Polymer Chemistry. – Ithaca: Cornell University Press, 1953.
12. Peppas N.A., Khare A.R. Preparation, structure and diffusional behavior of hydrogels // Advanced Drug Delivery Reviews. – 1993. – Vol. 11, No. 1–2. – P. 1–35. – DOI: 10.1016/0169-409X(93)90025-Y.
13. Tanaka T. Gels // Scientific American. – 1981. – Vol. 244, No. 1. – P. 124–138. – DOI: 10.1038/scientificamerican0181-124.
14. Donnan F.G. The theory of membrane equilibria // Chemical Reviews. – 1924. – Vol. 1, No. 1. – P. 73–90. – DOI: 10.1021/cr60001a003.
15. Li Y., Tanaka T. Kinetics of swelling and shrinking of gels // The Journal of Chemical Physics. – 1990. – Vol. 92, No. 2. – P. 1365–1371. – DOI: 10.1063/1.458029.
16. Yin Y., Zhang L., Wang K. Interpenetrating polymer network hydrogels based on chitosan derivatives // Carbohydrate Polymers. – 2019. – Vol. 222. – Art. 115012. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115012.
17. Yin Y., Wang K., Zhang L. Swelling behavior of highly porous IPN hydrogels // Polymer. – 2020. – Vol. 186. – Art. 122020. – DOI: 10.1016/j.polymer.2019.122020.

18. Klemm D., Heublein B., Fink H.P., Bohn A. Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2005. – Vol. 44, No. 22. – P. 3358–3393. – DOI: 10.1002/anie.200460587.
19. Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. Cellulose nanomaterials review // *Chemical Society Reviews*. – 2011. – Vol. 40, No. 7. – P. 3941–3994. – DOI: 10.1039/C0CS00108B.
20. Pourjavadi A., Kurdtabar M. Starch-based superabsorbent hydrogels // *Reactive and Functional Polymers*. – 2007. – Vol. 67, No. 9. – P. 944–954. – DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.010.
21. Liu M., Zhang Y., Wang Q. Starch-graft-poly(acrylamide) superabsorbents // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 181. – P. 111–119. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.10.045.

Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24993129 «Білгалды сіңіріп, сақтауға және ылғалдың бөлінуін реттеуге қабілетті биологиялық ыдырайтын ыстыққа сезімтал гидрогельді әзірлеу» жоба аясында орындалды.

Материал редакцияға 28.01.26 түсті, 10.09.26 қабылданды.

А. Азимов¹, Г.М. Изтлеуов¹, А.А. Болысбек¹, А.М. Есимова¹

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУПЕРПОГЛОЩАЮЩИХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Аннотация. В данной статье исследована химическая технология получения суперпоглощающих гидрогелей на основе природных компонентов. В качестве объекта исследования рассмотрены композитные гидрогели, синтезированные на основе крахмала, акриламида и каолина. Крахмал использован как биоразлагаемая полимерная матрица, акриламид введен для повышения гидрофильных свойств и степени набухания гидрогелей. Слоистый алюмосиликатный минерал каолин применён в качестве неорганического наполнителя, способствующего улучшению механической прочности и термической устойчивости структуры гидрогеля. Изучено влияние концентрации инициатора и сшивающего агента на степень набухания синтезированных гидрогелей. Экспериментальные результаты показали, что при концентрации инициатора в диапазоне 0,8–1,0 масс.% степень набухания достигает максимальных значений, что связано с интенсификацией образования свободных радикалов и эффективным формированием полимерных цепей. Установлено, что при содержании инициатора 1 масс.% водопоглощающая способность гидрогеля достигает 890 г/г. Также выявлено, что увеличение концентрации NaCl приводит к снижению водопоглощения гидрогелей. Элементный состав композитов определён методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, подтвердившим преобладание углерода, кислорода и азота в полимерной матрице. Полученные гидрогели являются экологически безопасными, экономически эффективными и перспективными для применения в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: гидрогели, крахмал, акриламид, каолин, суперпоглощающие материалы, водоудержание.

A. Azimov¹, G.M. Iztleuov¹, A.A. Bolysbek¹, A.M. Yesimova¹

¹*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

**CHEMICAL TECHNOLOGY OF SUPERABSORBENT HYDROGELS BASED
ON NATURAL COMPONENTS**

Abstract. This paper investigates the chemical technology for the synthesis of superabsorbent hydrogels based on natural components. Composite hydrogels synthesized from starch, acrylamide, and kaolin were selected as the objects of study. Starch was used as a biodegradable polymer matrix, while acrylamide was introduced to enhance hydrophilicity and swelling capacity. Kaolin, a layered aluminosilicate mineral, was incorporated as an inorganic filler to improve the mechanical strength and thermal stability of the hydrogel structure. The influence of initiator and cross-linking agent concentrations on the swelling behavior of the synthesized hydrogels was examined. Experimental results showed that the maximum swelling degree was achieved at an initiator concentration of 0.8–1.0 wt.%, which is attributed to enhanced free-radical generation and efficient formation of polymer chains. At an initiator content of 1 wt.%, the water absorption capacity of the hydrogel reached 890 g/g. In addition, an increase in NaCl concentration was found to result in a gradual decrease in the water absorption capacity of the hydrogels. The elemental composition of the composites was determined using energy-dispersive X-ray spectroscopy, confirming the dominance of carbon, oxygen, and nitrogen in the polymer matrix. The obtained hydrogels are environmentally friendly, cost-effective, and show strong potential for agricultural applications.

Keywords: hydrogels, starch, acrylamide, kaolin, superabsorbent materials, water retention.