

FTAMP 61.59.37

А. АЗИМОВ¹ – негізгі автор, | ©
Г.М. ИЗТЛЕУОВ², А.А. БОЛЫСБЕК³¹PhD, доцент, ²Хим. ғылым. канд., профессор, ³Техн. ғылым. канд., доцент

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-1316-5854> ²<https://orcid.org/0000-0002-5722-342X>³<https://orcid.org/0000-0001-8708-2608>^{1,2,3}М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,

Шымкент, Қазақстан

²gani5@mail.ru<https://doi.org/10.55956/QESY9252>

ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН КАОЛИН, АКРИЛАМИД ЖӘНЕ КРАХМАЛ НЕГІЗІНДЕ АЛЫНҒАН ГИДРОГЕЛЬДЕРДІҢ ҚАСИЕТІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста крахмал, акриламид және каолин негізінде алынған композиттік гидрогельдердің құрылымдық, морфологиялық және термиялық қасиеттері зерттелді. Гидрогельдер бос радикалды сополимерлену арқылы синтезделді. Термогравиметриялық талдау гидрогельдердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын көрсетті: 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі, 250-320°C аралығында 8,28% және 320-350°C аралығында 3,71% ыдырауы анықталды. DTG қисығында T_{max} ≈ 290°C мәнінде ыдыраудың ең жоғары жылдамдығы байқалып, бұл композиттің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері каолиннің полимер матрицасының құрылымдық беріктігін арттырып, гидрогельдердің тұрақтылығын күшейтетінін дәлелдеді. Алынған нәтижелер гидрогельдердің су сіңіру қабілеті жоғары және құрылымдық тұрғыдан тұрақты материал екенін дәлелдейді. Термогравиметриялық талдау композиттердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын және каолиннің термиялық тұрақтылықты арттыратынын дәлелдеді. Алынған гидрогельдер экологиялық қауіпсіз, құрылымдық тұрғыдан тұрақты материалдар ретінде ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаны қорғау салаларында қолдану маңызы үлкен болып табылады.

Тірек сөздер: гидрогельдер, крахмал, акриламид, каолин, термогравиметриялық талдау, композиттік материалдар.



Азимов, А. Дифференциалды термогравиметриялық әдіспен каолин, акриламид және крахмал негізінде алынған гидрогельдердің қасиетін талдау [Мәтін] / А. Азимов, Г.М. Изтлеуов, А.А. Болысбек // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.418-426. <https://doi.org/10.55956/QESY9252>

Кіріспе. Қазіргі таңда су ресурстарының тапшылығы, климаттық өзгерістердің күшеюі және ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптің қарқынды дамуы жаңа функционалдық материалдарға деген сұранысты арттырып отыр [1-3]. Әсіресе ылғалды тиімді сіңіріп, ұзақ уақыт бойы ұстап тұра алатын материалдар экология, ауыл шаруашылығы, медицина және қоршаған ортаны қорғау салаларында маңызды орын алады [2,4]. Осы тұрғыдан алғанда,

суперсіңіргіш гидрогельдер соңғы жылдары ғылыми зерттеулердің өзекті объектілерінің біріне айналды [1,5].

Гидрогельдер – бұл суды немесе сулы ерітінділерді өзінің массасынан ондаған, тіпті жүздеген есе артық мөлшерде сіңіре алатын, үшөлшемді торлы құрылымға ие полимерлік материалдар [4,6]. Олардың ерекше қасиеттері полимер тізбектерінің айқастырып тігілген құрылымына және құрамындағы гидрофильді функционалдық топтардың болуына байланысты [6,7]. Мұндай материалдар топырақтың ылғал сақтау қабілетін арттыруда, тыңайтқыштар мен пестицидтердің бақыланатын босап шығуын қамтамасыз етуде, сондай-ақ әртүрлі сорбциялық жүйелерде кеңінен қолданылады [3,5].

Дегенмен, дәстүрлі синтетикалық суперсіңіргіш полимерлердің өндірісі көбінесе мұнай-химия шикізатына негізделеді және олардың биологиялық ыдырауы төмен деңгейде болады, бұл қоршаған ортаға қосымша экологиялық жүктеме түсіреді [4,8]. Осыған байланысты соңғы жылдары табиғи полимерлерге негізделген, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және экономикалық тиімді гидрогельдерді әзірлеуге бағытталған зерттеулерге ерекше назар аударылуда [1,6].

Табиғи полимерлердің ішінде крахмал жаңартылатын, биологиялық ыдырайтын және кең таралған шикізат көзі ретінде ерекше қызығушылық тудырады [6,9]. Оның молекулалық құрылымындағы гидроксил топтары крахмалды химиялық модификациялауға және әртүрлі сополимерлер алу үшін қолайлы жағдай жасайды [7]. Алайда таза крахмал негізіндегі гидрогельдердің механикалық беріктігі мен суда тұрақтылығы жеткіліксіз болғандықтан, оларды синтетикалық мономерлермен, соның ішінде акриламидпен кополимерлеу тиімді тәсіл болып табылады [5,10].

Соңғы зерттеулер минералды қоспаларды енгізу гидрогельдердің функционалдық және термиялық қасиеттерін жақсартатынын көрсетеді [8,10]. Осы тұрғыда каолин полимер матрицасында қосымша айқастырып тігу орталықтарын қалыптастырып, гидрогельдердің механикалық беріктігін, құрылымдық біркелкілігін және термиялық тұрақтылығын арттыратыны анықталған [9,10].

Табиғи полимерлердің ішінде крахмал ерекше қызығушылық тудырады. Крахмал – жаңартылатын, биологиялық ыдырайтын және кең таралған шикізат көзі болып табылады. Оның молекулалық құрылымында көптеген гидроксил топтарының болуы крахмалды химиялық модификациялауға және әртүрлі сополимерлер алу үшін қолайлы етеді. Алайда таза крахмал негізіндегі гидрогельдер әдетте механикалық беріктігі төмен және суда тұрақтылығы жеткіліксіз болады. Сондықтан крахмалдың функционалдық қасиеттерін жақсарту мақсатында оны синтетикалық мономерлермен кополимерлеу тиімді тәсілдердің бірі болып саналады.

Акриламид крахмалмен бірге қолданылатын ең кең таралған мономерлердің бірі болып табылады. Акриламид негізіндегі полимерлер жоғары гидрофильділігімен, жақсы ісіну қабілетімен және салыстырмалы түрде тұрақты құрылымымен ерекшеленеді. Крахмал мен акриламидтің егу кополимерленуі нәтижесінде алынған гидрогельдер табиғи және синтетикалық компоненттердің артықшылықтарын біріктіріп, жақсартылған сорбциялық және механикалық қасиеттерге ие болады.

Соңғы зерттеулер көрсеткендей, минералды қоспаларды енгізу гидрогельдердің функционалдық сипаттамаларын одан әрі жақсартуға мүмкіндік береді. Осы тұрғыда каолин ерекше қызығушылық тудырады. Каолин – қабатты құрылымға ие алюмосиликатты минерал, ол жоғары

химиялық тұрақтылығымен, қолжетімділігімен және экологиялық қауіпсіздігімен сипатталады. Каолин бөлшектерін полимер матрицасына енгізу айқастырып тігудің қосымша нүктелерін қалыптастырып, гидрогельдің механикалық беріктігін, термиялық тұрақтылығын және құрылымдық біркелкілігін арттырады.

Сонымен қатар, каолиннің болуы гидрогельдің су сіңіру және ылғалды ұстап тұру қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Минералды бөлшектер полимер торының кеңеюін реттеп, су молекулаларының біркелкі таралуына жағдай жасайды. Алайда каолин мөлшерінің шамадан тыс артуы полимер тізбектерінің қозғалысын шектеп, керісінше, гидрогельдің ісіну дәрежесінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан композиция құрамындағы әрбір компоненттің оңтайлы мөлшерін анықтау аса маңызды ғылыми міндет болып табылады.

Гидрогельдердің қасиеттері тек олардың химиялық құрамына ғана емес, сондай-ақ синтез шарттарына, инициатор мен айқастырып тігуші агенттің мөлшеріне, сондай-ақ сыртқы орта факторларына да тәуелді. Мысалы, ерітіндінің иондық құрамы мен тұз концентрациясының артуы гидрогельдердің су сіңіру қабілетінің төмендеуіне әкелетіні белгілі. Бұл құбылыс осмостық қысымның өзгеруімен және полимер тізбектерінің электростатикалық өзара әрекеттесуімен түсіндіріледі. Осыған байланысты гидрогельдердің тұзды ортадағы мінез-құлқын зерттеу олардың практикалық қолданылу аясын бағалауда маңызды рөл атқарады.

Осы жұмыстың негізгі мақсаты – крахмал, акриламид және каолин негізінде суперсіңіргіш гидрогель-композиттерді синтездеп, олардың құрылымдық, морфологиялық, термиялық және сорбциялық қасиеттерін жан-жақты зерттеу болып табылады. Алынған нәтижелер табиғи және минералды шикізатқа негізделген суперсіңіргіш композиттерді әзірлеу бағытындағы ғылыми ізденістерді кеңейтіп, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әрі экономикалық тиімді материалдар жасауға мүмкіндік береді.

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

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 IRAFFINITY (Жапония) аспабында ИҚ-спектрлер алынды. Жоғары ісінгіш гидрогельдердің ИҚ-спектрлерінде мономерлік буындарға тән функционалдық топтарға сәйкес жұтылу жолақтары байқалды [20,21].

Сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM). Гидрогельдердің фазалық морфологиясы мен құрылымдық ерекшеліктері, сондай-ақ синтез шарттары мен қосымша компоненттердің әсері Jeol Interactive Corporation (Жапония) өндірісіндегі JSM-6460LA маркалы сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен зерттелді.

Дифференциалды термогравиметриялық талдау. Синтезделген қосылыстардың термиялық тұрақтылығы Paulik F, Paulik I, Erdey L жүйесіне негізделген дериватограф арқылы дифференциалды термогравиметриялық әдіспен анықталды. Дифференциалды термогравиметриялық талдау Paulik–Paulik–Erdey derivatograph қондырғысында жүргізілді. Талдау 293-793 К температура аралығында, температураны көтеру жылдамдығы 2-5 К/мин болған жағдайда жүргізілді [22,23].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Полимер материалдарының құрылымдық ерекшеліктерін талдауда олардың су сіңіру қабілетін анықтау маңызды әдістердің бірі болып саналады. Көптеген гидрофильді полимерлер үшін су негізгі белсенді сорбент рөлін атқарады, ал материал кеуектілігі судың сорбциялану үдерісіне елеулі әсер етеді.

Персульфатты қыздырған кезде сульфат аниондық радикалдары су молекулаларымен әрекеттесіп, бос радикалдардың түзілуіне әкеледі. Бұл радикалдар крахмал молекуласының гидроксил топтарынан сутекті бөліп алады. Одан кейін түзілген белсенді орталықтарға оттегі қосылып, крахмал мен акриламид арасында бос радикалды полимерлену реакциясы басталады.

Реакциялық жүйеге метилен-бис-акриламид енгізу арқылы жоғары молекулалық композиттің кеңістіктік торлы құрылымы қалыптасады. Бұл қосылыс гидрогель полимер тізбектерінің өзара байланысуын қамтамасыз ететін айқастырып тігуші агент қызметін атқарады. Каолин ұнтағы мен крахмал/акриламид/каолин негізіндегі композиттің ИҚ-спектрлері 1-суретте (а) және (б) көрсетілген.

Қабатты силикатты құрылымға тән ОН-топтардың жұтылу жолақтары 3687-3618 см⁻¹ аймағында байқалады. Ал 1660 см⁻¹ маңындағы жолақ акрилат буынындағы карбонил топтарының деформациялық тербелістеріне сәйкес келеді. 1b-суреттен композиттің спектрінде 1398 және 1556 см⁻¹ аймақтарында жаңа жұтылу максимумдарының пайда болғаны көрінеді.

Каолин мен крахмалдағы гидроксил топтарының, сондай-ақ акриламидтің CONH₂ амидтік тобына тән жолақтардың кополимерлену үдерісінен кейін өзгеруі бұл функционалдық топтардың өзара химиялық әрекеттесуін көрсетеді. Нәтижесінде кеңістіктік торлы құрылым түзіліп, су сіңіруге қабілетті функционалдық топтар қалыптасады.

Айқастырып тігу механизміне сәйкес, крахмалдың гидроксил топтары инициатор әсерінен түзілген –СНО және –СОН функционалдық топтарымен әрекеттесіп, олардың арасында кополимерлену жүреді деп болжауға болады. Полимер тізбектері мен каолин бөлшектері арасындағы химиялық байланыс үшөлшемді тордың түзілуіне әкеледі, ал қосымша айқастырып тігу метилен-бис-акриламид (СН₂=СН–СО–NH–СН₂–NH–СО–СН=СН₂) арқылы жүзеге асады.

Гидрогельдің су сіңіру қабілеті каолин мөлшеріне тәуелді болғандықтан, каолин бөлшектері негізінен айқастырып тігу нүктелері ретінде әрекет етіп, полимер матрицасымен химиялық байланыс түзеді деп қорытынды жасауға болады.

1-суретте а-кескінінде алынған композит үлгісінің инфрақызыл спектрі көрсетілген, ол синтезделген материалдың химиялық құрылымын және

Жалпы алғанда, инфрақызыл спектр нәтижелері крахмал, акриламид және каолин арасында өзара химиялық әрекеттесу жүріп, кеңістіктік торлы, су сіңіруге қабілетті композиттік құрылым түзілгенін дәлелдейді.

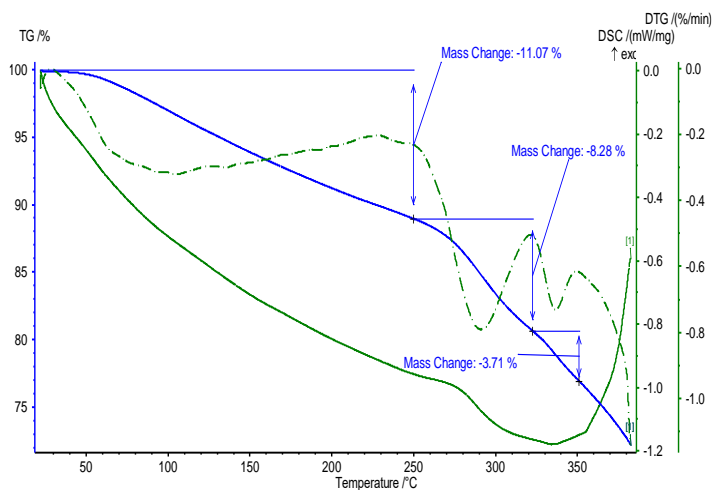
1-суретте б-кескінінде синтезделген композиттік гидрогельдің инфрақызыл спектрі келтірілген, ол материал құрамындағы функционалдық топтардың түрін және олардың өзара химиялық байланысу сипатын анықтауға мүмкіндік береді. 3600-3200 cm^{-1} аралығында байқалатын кең жұтылу аймағы гидроксил топтарының созылмалы тербелістеріне сәйкес келеді және крахмал мен каолин құрамындағы –ОН топтарының сутектік байланыстар арқылы өзара әрекеттесуін көрсетеді.

2900-2850 cm^{-1} диапазонында орналасқан жолақтар алифатты – CH_2 және – CH_3 топтарының созылу тербелістеріне тән, бұл органикалық полимер тізбегінің қалыптасқанын дәлелдейді. 1660 cm^{-1} маңындағы айқын жұтылу максимумы акриламид буынына тән карбонил топтарының (C=O) тербелістерімен байланысты. Ал 1550-1400 cm^{-1} аймағындағы жолақтар амидтік – CONH_2 топтарының және көмірсутек фрагменттерінің деформациялық тербелістерін сипаттайды.

1250-1000 cm^{-1} аралығында байқалатын жұтылу жолақтары C–O, C–N және Si–O байланыстарына сәйкес келеді, бұл полимер матрицасының минералды каолинмен химиялық өзара әрекеттескенін көрсетеді. 900-700 cm^{-1} диапазонында тіркелген жолақтар силикатты құрылымдарға тән тербелістермен байланысты.

Осылайша, инфрақызыл спектр деректері крахмал, акриламид және каолин компоненттерінің арасында кополимерлену және айқастырып тігу реакциялары жүргенін, нәтижесінде кеңістіктік торлы және жоғары су сіңіруге қабілетті композиттік гидрогель түзілгенін айқын дәлелдейді

2-суретте синтезделген гидрогель композитінің термиялық қасиеттері термогравиметриялық (TG), дифференциалды термогравиметриялық (DTG) және дифференциалды сканерлеуші калориметрия (DSC) әдістері арқылы зерттелген. TG қисығы үлгінің қыздыру барысында массасының біртіндеп төмендейтінін көрсетеді, бұл материалдың көпсатылы термиялық ыдырауымен байланысты.



Сурет 2. Синтезделген гидрогель композитінің термиялық қасиеттері термогравиметриялық (TG), дифференциалды термогравиметриялық (DTG) және дифференциалды сканерлеуші калориметрия (DSC) әдістері арқылы зерттелген нәтижелері

Температураның 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі байқалады, бұл кезең физикалық байланысқан судың бөлінуі және төмен молекулалық фрагменттердің жойылуымен түсіндіріледі. 250-320°C аймағында массаның қосымша 8,28% азаюы тіркелген, бұл полимер тізбектерінің термиялық ыдырауының басталуымен және органикалық компоненттердің деструкциясымен байланысты. Үшінші кезеңде, яғни 320-350°C температура аралығында, массаның тағы 3,71% кемуі байқалады, бұл композит құрылымының терең ыдырау процесін көрсетеді.

DTG қисығында массаның ең жоғары ыдырау жылдамдығы $T_{max} \approx 290$ °C шамасында байқалып, минутына шамамен 0,8% құрайды. DSC деректері эндотермиялық және экзотермиялық әсерлердің полимердің құрылымдық қайта түзілуі мен деструкциясына сәйкес келетінін көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер синтезделген гидрогельдің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін және минералды компоненттің (каолиннің) полимер матрицасын термиялық тұрғыдан күшейтетінін дәлелдейді.

Қорытынды. Бұл жұмыста гидрогельдерді синтездеу кезінде әртүрлі факторлардың әсері және олардың құрылымының инфрақызыл спектроскопиялық сипаттамалары жан-жақты қарастырылды. Алынған гидрогельдердің ИҚ-спектрлерін талдау нәтижесінде полимерлердің ықтимал құрылымдық формулалары анықталды. Термогравиметриялық талдау гидрогельдердің көпсатылы термиялық ыдырауға ұшырайтынын көрсетті: 70-250°C аралығында массаның шамамен 11,07% төмендеуі, 250-320°C аралығында 8,28% және 320-350°C аралығында 3,71% ыдырауы анықталды. DTG қисығында $T_{max} \approx 290$ °C мәнінде ыдыраудың ең жоғары жылдамдығы байқалып, бұл композиттің жеткілікті термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері каолиннің полимер матрицасының құрылымдық беріктігін арттырып, гидрогельдердің тұрақтылығын күшейтетінін дәлелдеді.

Синтезделген гидрогельдердің морфологиялық құрылымын сипаттау үшін сканерлеуші электрондық микроскопия әдісі қолданылып, алынған микробейнелер талданды. Нәтижелер гидрогельдердің кеуектілігі мен ісіну қасиеттерін айқын көрсетті. Сонымен қатар, синтезделген сорбенттердің әртүрлі агрессивті ортадағы химиялық тұрақтылығы зерттелді. Табиғи шикізат көздерін, атап айтқанда крахмал мен каолинді пайдалану арқылы суперсіңіргіш композиттер алу тәсілі өндіріс шығындарын азайтып қана қоймай, материалдың экологиялық қауіпсіздігін де қамтамасыз етеді. Алынған нәтижелер синтезделген композиттің кешенді сорбциялық қасиеттері жоғары екенін дәлелдейді.

Әдебиеттер тізімі

1. Ayoub El Idrissi, Channab B.-E., Essamlali Y., Zahouily M. Superabsorbent hydrogels based on natural polysaccharides: Classification, synthesis, physicochemical properties, and agronomic efficacy under abiotic stress conditions: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 258, Part 2. – Art. 128909. – DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.128909.
2. Sroka K., Sroka P. Superabsorbent Hydrogels in the Agriculture and Reclamation of Degraded Areas // *Sustainability*. – 2024. – Vol. 16, No. 7. – Art. 2945. – DOI: 10.3390/su1607294.
3. Zhu J., Zhang Z., Wen Y., Song X., Tan W.-K., Ong C.-N., Li J. Recent Advances in Superabsorbent Hydrogels Derived from Agro Waste Materials for Sustainable Agriculture: A Review // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2024. – Vol. 72. – DOI: 10.1021/acs.jafc.4c04970.

4. Bolysbek A.A., Azimov A., Iztleuov G.M., Djalilov A.T., Shirinov S.D. Hydrogel based on starch, acrylamide and kaoline // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 848-854. – DOI: 10.31788/RJC.2024.1738844.
5. Azimov A., Iztleuov G., Omirova R., Bolysbek A., Yertayeva Z., Nawi N., Eshburiev T. Formaldehyde-crosslinked GIPANA–polyacrylamide hydrogel improves root-zone soil moisture, infiltration, and crop yield under arid irrigation in the Turkistan Region // *Eurasian Journal of Soil Science*. – 2026. – Vol. 15. – P. 228-241. – DOI: 10.18393/ejss.1881729.
6. Montesano F., Parente A., Santamaria P., Sannino A., Serio F. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth // *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. – 2015. – Vol. 4. – P. 451-458. – DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052.
7. Azimov A., Bolysbek A., Iztleuov G., Duissebayer S., Ashirbayev Z. Development of biodegradable hydrogels with adjustable moisture retention capacity for agricultural applications // *Scientific Reports*. – 2026. – Vol. 16. – DOI: 10.1038/s41598-026-44948-w.
8. Luo Y., Xiong S.-Y., Zhang F., He X.-X., Lu X., Peng R.-T. Preparation of conductive polylactic acid/high density polyethylene/carbon black composites with low percolation threshold by locating the carbon black at the interface of co-continuous blends // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2021. – Vol. 138. – Art. e50291. – DOI: 10.1002/app.50291.
9. Azimov A., Bolysbek A., Iztleuov G., Ashirbayev Z., Amirbekova E., Duissebayer S. Development and Characterization of Novel Biodegradable Hydrogels With Controlled Moisture Release for Smart Packaging Materials // *Polymer Engineering & Science*. – 2025. – Vol. 65. – P. 5237-5247. – DOI: 10.1002/pen.70053.
10. Musa H., Musa Y., Suleiman M. Synthesis and Characterization of Starch-Graft-Acrylamide Hydrogel for Oral Drug Delivery // *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 27. – P. 16-21. – DOI: 10.4314/njbas.v27i2.3.

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

Материал редакцияға 28.01.26 түсті, 26.05.26 қабылданды.

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАОЛИНА, АКРИЛАМИДА И КРАХМАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Аннотация. В данной работе были исследованы структурные, морфологические и термические свойства композитных гидрогелей, полученных на основе крахмала, акриламида и каолина. Гидрогели были синтезированы методом свободнорадикальной сополимеризации. Термогравиметрический анализ показал, что гидрогели подвергаются многостадийной термической деградации: в диапазоне 70-250°C наблюдается снижение массы примерно на 11,07%, в диапазоне 250-320°C – на 8,28%, и в диапазоне 320-350°C – на 3,71%. На кривой DTG при значении T_{max} ≈ 290 °C зафиксирована максимальная скорость разложения, что свидетельствует о достаточной термической стабильности композита. Результаты исследования показали, что каолин повышает структурную прочность полимерной матрицы и

усиливает стабильность гидрогелей. Полученные результаты подтверждают, что гидрогели обладают высокой водопоглощающей способностью и структурной устойчивостью. Термогравиметрический анализ также подтвердил многостадийный характер термической деградации композитов и повышение термической стабильности за счёт каолина. Полученные гидрогели являются экологически безопасными и структурно стабильными материалами, имеющими большое значение для применения в сельском хозяйстве и охране окружающей среды.

Ключевые слова: гидрогели, крахмал, акриламид, каолин, термогравиметрический анализ, композиционные материалы.

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

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

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF KAOLIN-, ACRYLAMIDE-, AND STARCH-BASED HYDROGELS USING DIFFERENTIAL THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS

Abstract. In this work, the structural, morphological, and thermal properties of composite hydrogels based on starch, acrylamide, and kaolin were investigated. The hydrogels were synthesized via free-radical copolymerization. Thermogravimetric analysis showed that the hydrogels undergo multistage thermal degradation: a mass loss of approximately 11.07% in the range of 70-250°C, 8.28% in the range of 250-320°C, and 3.71% in the range of 320-350°C was observed. The DTG curve exhibited a maximum decomposition rate at $T_{max} \approx 290^\circ\text{C}$, indicating sufficient thermal stability of the composite. The results demonstrated that kaolin enhances the structural strength of the polymer matrix and improves the stability of the hydrogels. The obtained results confirm that the hydrogels possess high water absorption capacity and structural stability. Thermogravimetric analysis also confirmed the multistage nature of thermal degradation of the composites and the enhancement of thermal stability due to kaolin. The synthesized hydrogels are environmentally safe and structurally stable materials with significant potential for applications in agriculture and environmental protection.

Keywords: hydrogels, starch, acrylamide, kaolin, thermogravimetric analysis, composite materials.