

AQAROZA GELİNİN DİELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ HİDROFOB VƏ HİDROFİL ƏLAVƏLƏRİN TƏSİRİNİN TƏDQIQI

A.H. ƏSƏDOVA

*Bakı Dövlət Universiteti,
Azərbaycan, Bakı 1148, Z.Xəlilov küç. 23,
aynurasadova19@gmail.com*

Aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası metodu ilə aqaroza gelinin dielektrik xassələrinə hidrofilyar (çaxır turşusunun Na duzu ($C_4H_4O_6Na_2 \cdot 2H_2O$)) və hidrofob (izoamil spirti ($(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$)) əlavələrin təsiri tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, hidrofob əlavə gelin dielektrik relaksasiyasını zəif dəyişdirir, hidrofilyar əlavə isə aşağı tezliklər tərəfə sürüşdürür. Bu xüsusiyyətlər məhlulun özlülüyündə baş verən dəyişikliklərlə bağlıdır.

Açar sözlər: aqaroza, dielektrik nüfuzluğu, dielektrik relaksasiyası, özlülük

PACS: 72.22. Ej, 64.75 Bc, 31.70.Dk, 61.70.Og

1. GİRİŞ

Bəzi polimer məhlulları və kolloid sistemlər polimerin və kolloid hissəciklərin müəyyən konsentrasiyasından yuxarıda və müəyyən temperaturdan aşağıda gel halına keçir, yəni axıcılığını itirir. Yumşaq bərk cisim adlandırılan gel böyük elmi maraq doğurur. Bunun təsdiqi olaraq gelə həsr olunmuş müasir monoqrafiyaları göstərmək olar [1-4]. Unikal mexaniki xassələrə malik olduğundan, gellər həm də materialşünaslıqda, biotexnologiyada, yeyinti sənayesində, kosmetologiyada və s. geniş tətbiq olunur. Buraya keramika texnologiyasını (3D printer vasitəsi ilə incə detalların hazırlanması), əczaçılıq (dərmanların saxlanması, təsir müddətinin uzadılması, verilmiş orqana istiqamətlənmiş göçürülməsi), orqan mühəndisliyini (süni orqanların - sümük, diş, qığırdaq, yumşaq toxuma, əzələ və s.) əvəzlənməsini və s. göstərmək olar [5].

Dünyanın bir çox tanınmış elm mərkəzlərində və elmi-tədqiqat qruplarında biopolimer gellərinin (orqanizmlə uyğunlaşmış olduquna görə) xassələrinin öyrənilməsi və onların praktik tətbiqi istiqamətlərində vacib tədqiqatlar aparılır. Bu işləri iki qrupa ayırmaq olar.

Sırf tədqiqat xarakterli işlər. Məsələn, [6-8] işlərində polisaxarid gellərin dinamik reoloji xassələri və müxtəlif səviyyəli assosiatların bu xassələrə təsir tədqiq olunur. [9, 10] işlərində RHAMSAN, WELLAN GUM kimi polisaxarid gellərinin yaddaş və itki modulalarının temperaturdan və polimerin konsentrasiyasından asılılıqları haqqında qiymətli eksperimental tədqiqatlar yerinə yetirilmişdir. Yeyil Universitetindəki qrup alginat gellərin strukturuna və özlü-elastic xassələrinə qeyri üzvi duzların təsirini öyrənir [11]. [12] işində aqar gelinin reoloji xassələrinin onun tərkibindəki hava qabarcıqlarının konsentrasiyasından və ölçüsündən asılılığı tədqiq olunmuşdur. [13] işində işığın dinamik səpilməsi və osiyasyon sürüşmə reologiyası metodu ilə geləmələgəlmə prosesinin dinamikası tədqiq olunur. Rixtering və digərlərinin yerinə yetirdiyi orijinal işdə reomexaniki və reooptik metodlardan istifadə etməklə polisaxarid gellərinin reoloji xassələrini ölçmək və bunun əsasında gelin mikrostrukturu haqqında əlavə məlumat əldə etmək imkanı göstərilmişdir [14]. Digər bir qrupun gördüyü işdə aqar gelinin reoloji xassələri-

nin aqarın mənşəyindən, molekulyar kütləsindən və konsentrasiyasından asılılığı tədqiq olunur [15].

Tətbiqi xarakterli işlərə misal olaraq aşağıdakıları qeyd etmək olar. Alginat hidrogeli əsasında hazırlanan biomaterial infarkt zamanı ürəyin zədələnən hissəsini uğurla əvəz etməyə imkan verir [16]. Son illərdə polielektrolitlər əsasında hazırlanan "ağıllı gellər" (smart gels) tələb olunan elastik xassələrə malik süni əzələ yaradılması baxımından perspektivli materiallar hesab olunur [17-19].

Bu siyahını davam etdirmək də olar. Gelin tətbiqi ilə bağlı konkret bir məsələnin hər həllində istifadə olunan gel müəyyən reoloji və termal xassələr toplusuna (axma gərginliyinə, yaddaş və itki modulalarına, özlülüyə, gelin mövcudluğunun temperatur intervalına, istilikkeçirməsinə, istilik tutumuna və s.) malik olmalıdır. Ona görə də, baxılan xassələrin idarə olunması praktik tətbiq baxımından olduqca vacibdir ki, bu məsələnin də həlli yollarından biri gelə müxtəlif təbiətli əlavələr daxil etməkdir. Bu əlavələrin gelin xassələrinə təsiri sonuncunun mikrostrukturunda baş verən dəyişikliklərlə bağlıdır. Gelin strukturunu təkcə onun mexaniki və istilik xassələrini yox, digər fiziki xassələrini (elektrik, optik və s.) də müəyyən edən amillərdən biridir. Ona görə də, gelin, məsələn, dielektrik xassələrinin öyrənilməsi onun mikrostrukturu haqqında müəyyən məlumatlar əldə etməyə imkan verir.

Təqdim olunan işdə aşağı tezlikli dielektrik spektroskopiyası metodunun köməyi ilə müxtəlif konsentrasiyalarda aqaroza gelinin dielektrik xassələri ölçülmüş, həmçinin məlum hidrofob (izoamil spirti) və hidrofilyar (çaxır turşusunun Na duzu) əlavələrin bu xassələrə təsiri tədqiq olunmuşdur.

2. NƏZƏRİYYƏ

Dielektrik ölçmələrinin mahiyyətinə qısa nəzər salaraq: polyar dielektriklər dəyişən elektrik sahəsinə gətirildikdə molekuladakı poyar qruplar (dipollar) xarici sahənin təsiri ilə yönəlmə istiqamətlərini sahəyə uyğun dəyişirlər və bu dipollar molekulda sərt bağlı olduqda, molekulun özünü də sahənin ardınca dönməyə məcbur edirlər. Bu deyilənlər dielektrik spektroskopiyası metodunun əsasını təşkil edir [20]. Bu metod dielektrik

mühitin strukturu, molekulların quruluşu və molekullararası qarşılıqlı təsir haqqında müəyyən informasiya əldə etməyə imkan yaradır.

İzotrop dielektrikə

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega t \quad (1)$$

qanunu ilə dəyişən xarici elektrik sahəsi tətbiq etdikdə

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad (2)$$

elektrik induksiya vektoru xarici elektrik sahəsi ilə eyni fazada rəqs etmir. Onun rəqsləri müəyyən gecikmə ilə baş verir:

$$\vec{D} = \vec{D}_0 \sin (\omega t + \delta) \quad (3)$$

\vec{E}_0 və \vec{D}_0 - elektrik sahəsinin intensivliyi və induksiya vektorlarının amplitud qiymətləri, δ - onların rəqsləri arasındakı fazalar fərqi, ε - mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğu, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{pF}{m}$ - elektrik sabitidir.

δ - faza sürüşməsi mühitin xarici elektrik sahəsinə reaksiyasının gecikməsi ilə bağlıdır. Bu gecikmənin fərqli səbəbləri ola bilər. Polyar mühitlərdə yuxarı tezliklərdə molekulların dipol momentləri elektrik sahəsinin istiqamətinin dəyişməsinin ardınca dönməyi çətinləşdirir və bu hadisə dipol relaksasiyası adlanır. İon keçiriciliyi olan mühitlərdə də müəyyən bir tezlikdən başlayaraq ionların rəqsi gecikə (dona) bilər və bu ion relaksasiyası adlanır. Relaksasiya nəticəsində mühitin dielektrik nüfuzluğunun qiyməti azalır və bu hadisə dielektrik dispersiyası adlanır. Yuxarıda deyildiyi kimi, dielektrik dispersiyasının eksperimental tədqiqi mühitdə baş verən relaksasiya mexanizmləri və mühitin strukturu haqqında qiymətli informasiya əldə etməyə imkan verir.

Mühitin xarici sahəyə reaksiyasının gecikməsi halında dielektrik nüfuzluğu kompleks ədəd olur:

$$\varepsilon * (\omega) = \varepsilon'(\omega) + i \cdot \varepsilon''(\omega) \quad (4)$$

$\varepsilon'(\omega)$ - dielektrik nüfuzluğunun həqiqi, $\varepsilon''(\omega)$ isə xəyali hissəsi olub sürtünmə (mayelərdə özlülük) nəticəsində mühitdəki enerji itkisini əks etdirir və özünü müəyyən keçiricilik şəklində göstərir.

Dielektrik dispersiyasına həsr olunmuş çoxsaylı modellər mövcuddur [11-13]. Polyar dielektrik mühitlərin klassik Debay nəzəriyyəsinə görə kompleks dielektrik nüfuzluğu

$$\varepsilon * = \varepsilon(\infty) + \frac{\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)}{1 + i\omega\tau} \quad (5)$$

düsturu ilə təyin olunur [20].

$\varepsilon(0)$ - statik dielektrik nüfuzluğudur (dielektrik nüfuzluğunun sabit elektrik sahəsindəki qiyməti). $\varepsilon(\infty) = n^2$ - dielektrik nüfuzluğunun optik tezliklərdəki qiyməti, n - mühitin sındırma əmsəlidir.

Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi, uyğun olaraq,

$$\varepsilon' = \frac{[\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)]\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon(\infty) + \frac{[\varepsilon(0) - \varepsilon(\infty)]}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (7)$$

düsturları ilə təyin olunur. Burada τ - xarakteristik Debay relaksasiya müddətidir. Məsələn, R radiuslu sferik polyar molekullar üçün

$$\tau = \frac{4\pi\eta R^3}{kT} \quad (8)$$

şəklində təyin edilir. Burada η - mühitin özlülüğü, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{K}$ - Bolsman sabiti, T - mütləq temperaturdur.

Faza sürüşməsinin (itki bucağının) tangensi və ya itki vuruğu dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin həqiqi hissəyə olan nisbəti kimi təyin olunur:

$$\operatorname{tg} \delta = D = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (9)$$

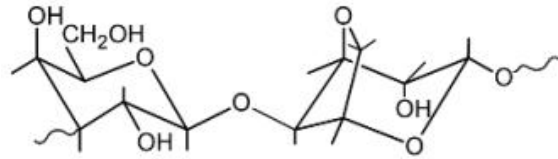
düsturu ilə təyin olunur.

Dielektrik dispersiyasını tədqiq edərkən, relaksasiya tezliyi dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin maksimumuna görə təyin edilir. Bu mümkün olmadıqda Debay və ya Koul-Koul diaqramından istifadə olunur. Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin xəyali hissədən asılılıq diaqramı yarımçevrə verir [20].

3. EKSPERİMENT

Təcrübələrdə istifadə olunan tozşəkilli aqaroza "CONDA" firmasından alınmışdır və yüksək təmizliyə malikdir. Aqaroza su mühitində güclü gəlməyə gətirmə qabiliyyətinə malikdir. Bizim araşdırmamıza görə onun gel yaratmasının kritik konsentrasiyası 0,12 – 0,14 % aralığındadır.

Aqarozanın əsas quruluş vahidi olan aqarobioz disaxaridinin quruluşu şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Aqarobioz disaxaridinin quruluşu.

Aqaroza gelinin hazırlanması aşağıdakı kimi yerinə yetirilmişdir. Aqaroza tozu ADAM PW124 tərəzi-sində (dəqiqlik 0,1 mq) çəkilərək bidistillə suyuna əlavə edilir. Qarışıq 1 gün saxlandıqdan (şişmə) sonra 95°C-yə qədər qızdırılır. Alınan bircins və şəffaf məhlul otaq temperaturuna qədər soyudulur.

Aqarozanın üç konsentrasiyasına baxılmışdır: 0.1% (çəki) – gel əmələ gəlməyən hal; 0.3% (çəki) – zəif gel əmələ gələn hal; 1% (çəki) – güclü gel əmələ gələn hal.

Nümunələr məhlul (zol) halında içərisində platin elektrodlar olan şüşə küvetə tökülür və otaq temperaturuna qədər soyudulur. Elektrodların sahəsi 1sm², aralarındakı məsafə isə 0.2 sm-dir. Ölçmələr ən azı bir gündən sonra aparılır, çünki aqaroza gelinin termodinamik tarazlığa gəlməsi kifayət qədər vaxt tələb edir.

AQAROZA GELİNİN DİELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ HİDROFOB VƏ HİDROFİL ƏLAVƏLƏRİN TƏSİRİNİN TƏDQIQI

Aqaroza gelinin dielektrik xassələrinin ölçülməsi IET 1920 LCR-metridə 25°C-də aparılmışdır. Cihaz 20 Hs – 1 MHs tezlik intervalında nümunənin elektrik tutumunu və müqavimətini ölçməyə imkan verir. Nümunəyə tətbiq olunan ölçmə gərgnliyi (test signal) 0,5 V olmuşdur.

Maye dielektrik platin elektrodları olan küvetə doldurulduqda dəyişən cərəyan dövrəsində ona paralel birləşdirilmiş C tutumlu kondensator və R müqavimətli rezistor kimi baxmaq olar. Bu halda yuvacığın kompleks müqaviməti

$$Z = \frac{RX^2}{R^2+X^2} + i \frac{R^2X}{R^2+X^2} \quad (10)$$

düsturu ilə təyin olunur.

$$X = \frac{1}{\omega C} \quad (11)$$

kəmiyyəti tutum müqavimətidir. Bu halda itki vuruğu

$$D = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{R\omega C} \quad (12)$$

Nümunənin fərqli tezliklərdə malik olduğu tutuma əsasən maye kristalın dielektrik nüfuzluğunu və elektrik keçiriciliyini, uyğun olaraq

$$\varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S} \quad (13)$$

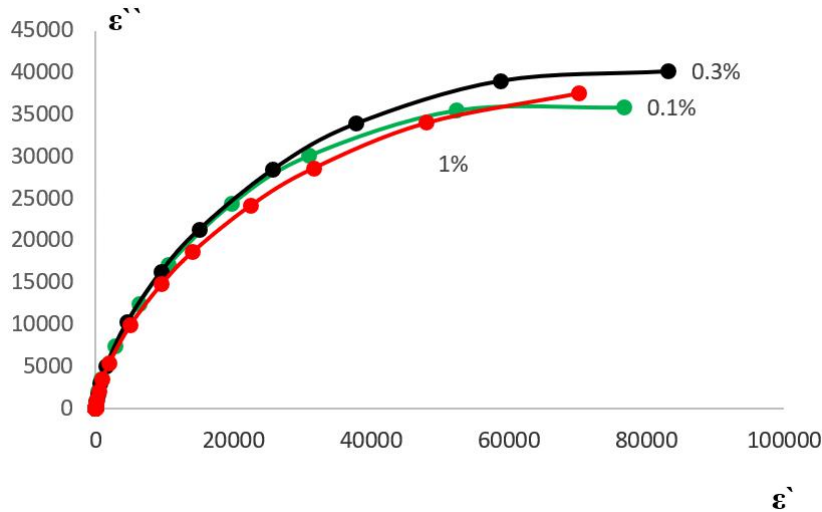
və

$$\sigma = \frac{d}{RS} \quad (14)$$

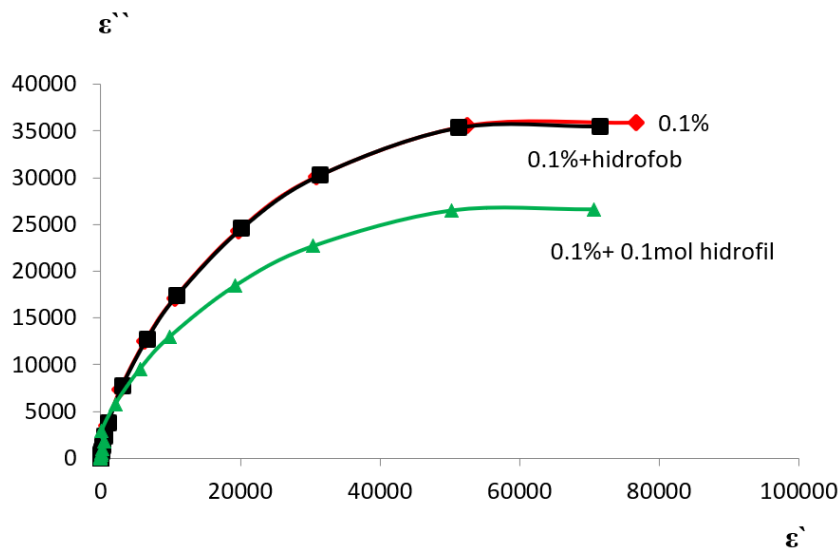
düsturlarının köməyi ilə tapmaq olar. S - elektrodların sahəsi, d - elektrodlar arasındakı məsafədir.

4. NƏTİCƏLƏR

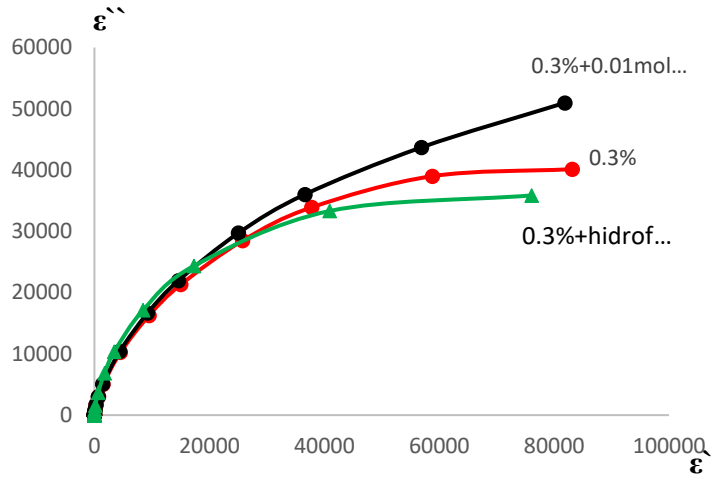
Ölçmələrin nəticələri 2-5 şəkillərində Debay diaqramları (ε' (ε'') asılılığı) formasında göstərilmişdir. Qeyd edək ki, absis oxunda sağ tərəf kiçik tezliklərə uyğundur.



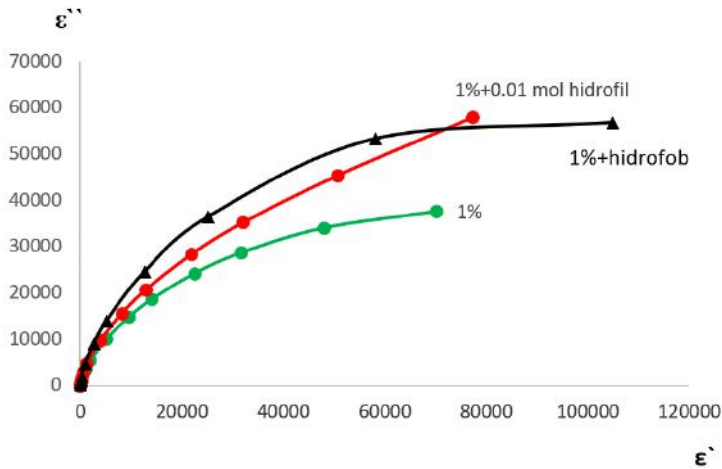
Şəkil 2. 25°C temperaturda müxtəlif konsentrasiyalarda aqarozanın suda məhlulunun Debay diaqramı.



Şəkil 3. Aqarozanın suda 0,1 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil spirti) və hidrofily əlavələr (çaxır turşusunun Na duzu) olunduğu halda Debay diaqramı.



Şəkil 4. Aqarozanın suda 0,3 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil spirti) və hidrofil əlavələr ((çaxır turşusunun Na duzu) olduğu halda Debay diaqramı.



Şəkil 5. Aqarozanın suda 1 %-li məhlulunun təmiz halda və hidrofob (izoamil) və hidrofil əlavələr (çaxır turşusunun) olduğu halda Debay diaqramı.

Hər şeydən əvvəl qeyd etmək ki, baxılan sistemlərdə dielektrik dispersiyası 20 Hs (0,1 %-li məhlul üçün) və daha aşağı tezliklərdə (0,3% ə 1%-li məhlullar üçün) baş verir. Bu relaksasiya, bizim fikrimizcə, elektrodun yaxınlığında yaranan ikiqat laydakı yüklü assosiatların – iri ölçülü ionların hərəkəti ilə bağlıdır. 0,3% və 1%-li məhlullar gel halında olduğundan onların də-

yişən elektrik sahəsindəki rəqsi daha aşağı tezliklərdə “donur”, çünki gəlin özlülüyü fəza torunun mövcud olması nəticəsində çox böyük olur.

0,1 %-li məhlul (zol) halında sferik yaxınlaşmada bu assosiatların ölçüsünü (8) düsturunun köməyi ilə qiymətləndirmək olar:

$$R \sim \sqrt[3]{\frac{\tau k T}{4\pi\eta}} = \sqrt[3]{\frac{k T}{4\pi\eta f_{rel}}} = \sqrt[3]{\frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 20}} = 10^{-7} m = 100 \text{ nm} \quad (14)$$

Bu rəqəm aqaroza gelindəki assosiatların ölçüsü üçün ədəbiyyatda verilənlərə uyğun gəlir [Guenet].

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, gəlin yarana bilmədiyi 0,1%-li məhlulda hidrofob əlavələr $\epsilon'(\epsilon'')$ asılılığında, demək olar ki, dəyişiklik yaratmır. Bu o deməkdir ki, məhlulun zol halına hidrofob əlavələr assosiatlaşmada əhəmiyyətli təsir göstərmir. Hidrofil əlavə isə dispersiya tezliyini bir qədər azaldır, yəni relaksasiya müddətini artırır.

Aqarozanın suda məhlulunda gəlin əmələ gəldiyi konsentrasiyalarda (0,3 % və 1 %) nəticələr bir qədər fərqli alınır. Şəkil 4 və 5-in təhlilindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, hər iki konsentrasiyada hidrofob əlavə gəlin dielektrik dispersiyasına, və deməli, yüklü asso-

siatların ölçüsünə zəif təsir edir.

Hidrofil əlavənin isə dielektrik dispersiyasını aşağı tezliklər tərəfə sürüşdürdüyü qrafiklərdən aşkar şəkildə görünür (təəssüf ki, cihazın ölçü diapazonu bu tezliyi dəqiq tutmağa imkan vermir). Ona görə də, (14) düsturuna görə deyə bilərik ki, hidrofil əlavə ya gel fazada ionşəkilli assosiatların ölçüsünün böyüməsinə, ya da sərbəst su molekullarını öz ətrafına toplayaraq (hidratlar yaradaraq) sistemin özlülüyünün artmasına səbəb olur. Burada ikinci səbəb daha güclü görünür, çünki yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, 0,1%-li məhlulda hidrofob və hidrofil əlavələr assosiatlaşmaya əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmir.

- [1] *Gels Handbook*, ed. by Y. Osada and K. Kajiwara. 3 volume set, 2001, 1478p
- [2] *Polymer Gels: Perspectives and Applications* ed by V. K. Thakur, M. K. Thakur, S. I. Voicu. Springer, 2018, 419p. 3.M. Djabourov, K.Nishinary, S.B. Ross-Murphy. *Physical Gels from Biological and Synthetic Polymers*, Cambridge University Press, 2018, 368 p
- [3] *Physics of Polymer Gels*, ed. by T. Sakai, Wiley-VCH, 2020, 287p
- [4] R.M. Ottenbrite, K. Park, T. Okano. *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook*, Springer, 2010, 453p.
- [5] K.C. Labropoulos, S. Rangarajan, D. E. Niesz, S. C. Danforth. *Dynamic Rheology of Agar Gel Based Aqueous Binder*, *Journal of American Ceramic Society*, 2001, 84, 6, 1217
- [6] K.C. Labropolus, D.E.Niesz, S.C. Danforth, P.G.Kevrekidis. *Dynamic rheology of agar gels: theory and experiments. Part I. Development of a rheological model*, *Carbohydrate Polymers*, 2002, 50, p.393-406
- [7] K.C. Labropolus, D.E. Niesz, S.C. Danforth, P.G.Kerrehidis. *Dynamic rheology of agar gels: theory and experiments. Part II: gelation behavior of agar sols and fitting of a theoretical rheological model* *Carbohydrate Polymers*, 2002, 50, p.407-415
- [8] E.A. Foegeding, C. Gonzales, D.D. Hamann, S.Case. *Polyacrylamide gels as elastic models for food gels*, *Hydrocolloids*, 1994, 8(2), p.125-134
- [9] U.Florjaneie, M.Zumer. *Acta. Chem. Slov*, 1998, 45 (4), p.419.
- [10] U.Florjaneie, M.Zumer – *Acta. Chem. Slov*, 1998, 45 (4), p.407.
- [11] A.J. de Kerchove, M. Elimelech. *Macromolecules, Structural growth and viscoelastic properties of adsorbed alginate layers in monovalent and divalent salts*, 2006, 39, p. 6558-6577
- [12] K.A.Ross, L.J.Pyrak-Nolte, O.H.Campanella. *The effect of mixing conditions on the material properties of an agar gel - microstructural and macrostructural considerations*, *Hydrocolloids*, 2006, 20, p.79-87
- [13] W. Richtering, K. D. Gagnon, R. W. Lenz, R. C. Fuller, H. H. Winter. – *Physical gelation of a bacterial thermoplastic elastomer*, *Macromolecules*, 1992, 25, p.2429-2933
- [14] W.M. Kulicke, O. Arendt. *Rheological characterization of the dilatant flow behavior of highly substituted hydroxypropylmethylcellulose solutions in the presence of sodium lauryl sulfate*, *Makrom.Chemie*, 1998, 26, p.53-62
- [15] Kh. Lahrech, A. Safonane, J. Peyerellase. *Sol State Formation and Melting of Agar Gels Rheological Study*, *Physica A*, 2005, 358, p.205
- [16] J. Leor, S. Cohen. *Miocardial Tissue Engineering: Creation of Muscle Patch for a Wounded Heart*, *Annals of New York Academy of Sciences*, 2004, 1015, p.312
- [17] J.P. Gong, Y. Katsuyama, T. Kurokawa, Y. Osada. *Double-Network Hydrogels with Extremely High Mechanical Strength*, *Adv.Mater.*, 2003, 15, p.1155-1167
- [18] A.R. Khokhlov. *Adv Pol. Sci.: Responsive Gels*, B: Springer Verlag, 1993, v109, p.275
- [19] K.R. Gorur. *Dielectrics in Electric Field*, CRC Press, 2017, 774p
- [20] J.M Guenet. *Polymer Solvent Molecular Compounds*, Elsevier, 2008, 333 p

A.H. Asadova

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROPHOBIC AND HYDROPHILIC ADDITIVES ON THE DIELECTRIC PROPERTIES OF AGAROSE GEL

The effect of hydrophilic and hydrophobic additives on the dielectric properties of agarose gel was studied by the method of low-frequency dielectric spectroscopy. It was shown that the hydrophobic addition weakly changes the dielectric relaxation of the gel, while the hydrophilic addition shifts it towards lower frequencies. These properties are related to changes in the viscosity of the solution.

A.Г. Асадова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНЫХ И ГИДРОФИЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГАРОЗОВОГО ГЕЛЯ

Влияние гидрофильных и гидрофобных добавок на диэлектрические свойства агарозного геля изучали методом низкочастотной диэлектрической спектроскопии. Показано, что гидрофобная добавка слабо изменяет диэлектрическую релаксацию геля, а гидрофильная добавка сдвигает ее в сторону более низких частот. Эти свойства связаны с изменением вязкости раствора.

Qəbul olunma tarixi: 28.11.2022