

Болосхаан С.,  
Құмарғалиева С.Ш.,  
Есімова О.А., <sup>1</sup>Мұсабеков К.Б.,  
Айдарова С.Б.

**Сұйық–газ шекарасындағы  
БА3–полиэтиленгликоль  
фазааралық қабаттарына  
температураның әсерін зерттеу**

<sup>1</sup>Boloskhaan S.,  
<sup>1</sup>Kumarqalieva S.Sh.,  
<sup>1</sup>Esimova O.A., <sup>1</sup>Musabekov K.B.,  
<sup>2</sup>Aidarova S.B.  
<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan  
<sup>2</sup>K.Satpaev Kazakh National Technical  
University, Almaty, Kazakhstan

**The study of the influence of  
temperature on surfactants –  
polyethyleneglycol interfacial  
layers on liquid – gas interface**

<sup>1</sup>Болосхаан С.,  
<sup>1</sup>Кумарғалиева С.Ш.,  
<sup>1</sup>Есімова О.А., <sup>1</sup>Мұсабеков К.Б.,  
<sup>2</sup>Айдарова С.Б.  
<sup>1</sup>Казахский национальный у  
ниверситет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан  
<sup>2</sup>Казахский национальный  
технический университет  
им. К.Сатпаева,  
г. Алматы, Казахстан

**Исследование влияния  
температуры на межфазные  
слои ПАВ – полиэтиленгликоль  
на границе жидкость – газ**

Жұмыста ионсыз полимер полиэтиленгликоль мен табиғаты әртүрлі, яғни анионды (натрий додецилсульфаты), катионды (цетилпиридиний бромиді) және ионсыз (Твин-80) беттік-активті заттардан тұратын композициялардың беттік керілулері өлшеніп, олардың адсорбциялық қабаттарына температураның әсері зерттелді. Химиялық термодинамика мен коллоидтық химияның классикалық негіздерін ескере отырып, полиэтиленгликоль, цетилпиридиний бромиді, Твин-80 және натрий додецилсульфатының адсорбциясының термодинамикалық параметрлері анықталды. Кинетикалық қисықтар арқылы заттардың сұйық–газ шекарасындағы адсорбция жылдамдығы бағаланды. Полимер ретінде ионсыз полиэтиленгликольдің алыну себебі бейионды БА3-дар мен полимерлер ұлы емес, биодырағыш, яғни адам ағзасы мен қоршаған ортаға залалсыз. Сондықтан да олар тамақ, фармацевтикалық, косметикалық, тұрмыстық химия тауарларының өндірісінде кең қолданысқа ие.

**Түйін сөздер:** беттік керілу; адсорбция; беттік-активті заттар; термодинамикалық параметрлер; фазааралық қабаттар.

The surface tension of compositions consisting of nonionic polyethyleneglycol and surface active substances of different nature and influence of temperatures on properties of their adsorption layers were studied. To be taken into account the basics of classical chemical thermodynamics and colloidal chemistry, the thermodynamic parameters were determined for the adsorption of glycol, cetyl pyridinium bromide, Tween- 80 and sodium dodecyl sulfate. Adsorption speed was valuated By Kinetic curves of a liquid /gas interfaces. As a surfactants were taken the anionic surfactant – sodium dodecylsulphate, cationic surfactant cetylpyridinium bromide and nonionic Tween-80. The reason of using nonionic polyethyleneglycol as polymer is that the polymer is not toxic, biodegradable and it has no harm to the human body. That is why they are largely used in food industry, pharmaceuticals, cosmetics and household chemical products.

**Key words:** surface tension; adsorption; surfactants; thermodynamic parameters; interfacial layers.

В работе измерено поверхностное натяжение композиций неионного полимера полиэтиленгликоля и поверхностно-активных веществ различной природы: анионного (додецилсульфата натрия), катионного (цетилпиридиний бромида) и неионногенного (Твин-80); также изучено влияние температуры на свойства их адсорбционных слоев. На основе классических представлений химической термодинамики и коллоидной химии определены термодинамические параметры адсорбции полиэтиленгликоля, цетилпиридиния бромида, Твин-80 и додецилсульфата натрия. С помощью кинетических кривых снижения поверхностного натяжения проведена оценка времени адсорбции на границе раздела жидкость–газ. Выбор неионногенного полиэтиленгликоля в качестве полимера обоснован нетоксичностью, биоразлагаемостью, т.е. безопасностью для организма человека и окружающей среды. Вследствие этого, они находят широкое применение в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности и производстве товаров бытовой химии.

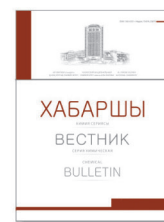
**Ключевые слова:** поверхностное натяжение; адсорбция; поверхностно-активные вещества; термодинамические параметры; межфазные слои.



# CHEMICAL BULLETIN

of Kazakh National University

<http://bulletin.chemistry.kz/>



ӘОЖ 544.72

<http://dx.doi.org/10.15328/cb589>

**<sup>1\*</sup>Болосхаан С., <sup>1</sup>Құмарғалиева С.Ш., <sup>1</sup>Есімова О.А.,  
<sup>1</sup>Мұсабеков К.Б., <sup>2</sup>Айдарова С.Б.**

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті,

Алматы қ., Қазақстан

\*E-mail: seryk\_bolyshan@mail.ru

## **СҰЙЫҚ–ГАЗ ШЕКАРАСЫНДАҒЫ БАЗ–ПОЛИЭТИЛЕНГЛИ- КОЛЬ ФАЗААРАЛЫҚ ҚАБАТТАРЫНА ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

### **Кіріспе**

Технологиялық процестердің қарқындылығын арттыру қазіргі химия ғылымының басты мәселелердің біріне жатады. Осы мәселені шешуде БАЗ–полимер комплекстеріне негізделген композициялық БАЗ-дардың қолдануы маңызды орын алады. Олар дисперстік жүйелердің қатысуымен жүретін коллоидты-химиялық үдерістерді реттеу үшін: тиімді флокулянттар, құрылым түзгіштер, эмульсиялар мен көбіктердің тұрақтандырғыштары ретінде экологиялық мәселелерді шешуде, медицинада, биотехнологияда және т.б. салаларда кеңінен қолданылады [1].

Композициялық БАЗ-дарды халық шаруашылығының көптеген саласында қолдану үшін олардың әртүрлі фазааралық шекарадағы қасиеттерін зерттеу қажет. БАЗ – полимер ассоциаттарының әрекеттесу заңдылықтары шетел және отандық ғалымдардың еңбектерінде зерттеліп, мұндай ассоциаттарды БАЗ-дардың жаңа тобына жатқызуға болатыны көрсетілді [2]. Осындай жаңа беттік-активті заттарды өндіру бір жағынан теориялық қызығушылық туғызса, екінші жағынан практикалық маңызды.

Осыған байланысты, жұмыста ионсыз полимер полиэтиленгликоль мен табиғаты әртүрлі беттік-активті заттардан тұратын композициялардың беттік керілулері өлшеніп, олардың адсорбциялық қабаттарына температураның әсері зерттелді.

Алынған композицияларды көбіктер, эмульсиялар, суспензиялардың тұрақтандырғышы ретінде қолданып, жуғыш заттардың құрамына енгізуге болады.

### Тәжірибелік бөлім

Бұл жұмыста бастапқы материалдар ретінде полиэтиленгликоль ( $M_r=3000$ ,  $[-CH_2CH_2O]_n$ ); Твин-80 (ангидросорбиттің оксиэтиленген моноолеаты); натрий додецилсульфаты ( $C_{12}H_{25}OSO_3 Na$ ) (ДДС); цетилпиридиний бромиді ( $C_{16}H_{33}C_5H_5NBr$ ) (ЦПБ) алынды. Қолданылған заттар қосымша тазартуды талап етпеді, себебі беттік керілудің изотермаларында ауытқулар болмады.

Беттік керілу жетілдірілген Вильгельми тәсілімен өлшенді. Бұл әдіс дәлдігі бойынша көпіршікті немесе үзілген тамшы әдісіне карағанда тиімдірек. Бұл әдіс ұзақ уақыт аралығында фаза аралық керілуі өзгеретін ерітінділердің  $\sigma$ -сын есептеуге қолайлы болғаны үшін таңдап алынған. Зерттеліп жатқан ерітінді ақырын, жоғары – төмен қозғалатын тұғырға орналасқан термостатталған стаканға орналастырады. Көтереңкі стол ақырын және жеңіл қозғалады. Осылайша теңселу болмайды. Ерітіндідегі пластинканы тарту күші  $\pm 10^{-6}$  кг дәлдікпен өлшенеді. Таразы стаканының орнына беті және ернеуі тегістеліп өңделген көлемі  $(15 \times 15) \cdot 10^{-3}$  м платина пластинкасы ілінеді. Өлшеуіш пластинка бетінің кедір-бүдірлігі зерттелетін ерітіндінің платина бетіне жұғуын жақсартып, өлшеудің дәлдігін арттырады. Өлшеуіш шыны ұяшықтағы ерітінді температурасы  $\pm 0,05$  °C дәлдікте U-2 термостат көмегімен тұрақтандырылып отырады. Беттік керілуді ( $\sigma$ ) анықтау үшін пластинканың тартылу күші ( $P_x$ ) торзионды таразы көмегімен өлшенеді. Пластинаның өте жоғары  $\sigma$  мәнінің салдарынан алғашқы тез тартылудан кейінгі уақытта беттік керілудің баяу өзгерісі барысында  $P_x$  шамасы төмендеуі байқалады. Ал таразы көмегімен белгілі уақыт аралықтары өткенде жазып отырады.

Беттік керілуді мына теңдеумен есептелінеді:

$$\sigma = \frac{P + shd}{2(1+b)} g \quad (1)$$

мұндағы:  $P$  – пластинка салмағы, кг;  $S$  – пластинканың көлденең қимасының ауданы, м;  $b$  – қалыңдығы ( $b < 1$ ), м<sup>2</sup>;  $h$  – батырылу тереңдігі, м;  $d$  – зерттелетін ерітінді тығыздығы, кг/м<sup>3</sup>.

Сұйытылған сулы ерітінді өлшегендіктен, олардың тығыздығын судың тығыздығымен ( $d=1$ ) тең деп есептеуге болады және гидростатикалық теңдеуді ескермеуге де болады. Осылайша,  $\sigma_x$  келесі теңдеумен анықталады:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_0 P_x}{P_0} \quad (2)$$

мұндағы:  $\sigma_0, P_0$  – таза суға қатысты;  $\sigma_x, P_x$  – зерттелуші ерітіндіге қатысты. Сенімділік коэффициентті 0,95 өлшем қателіктері  $\pm 0,2$  мН/м аспайды.

### Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

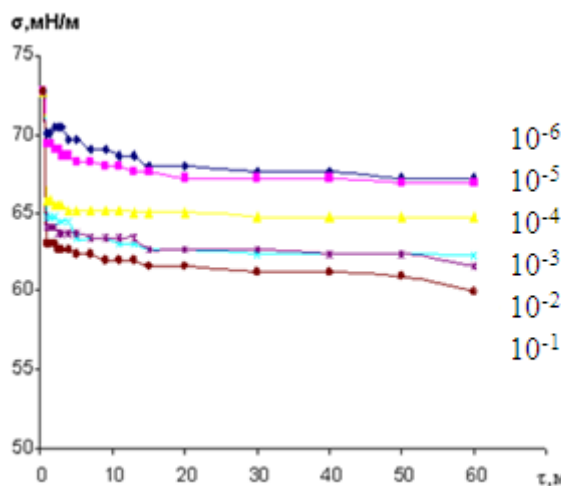
Полимер – беттік-активті зат (БАЗ) комплекстерінің негізіндегі композициялық БАЗ-дар көптеген салаларда дисперстік жүйелердің қатысуымен жүретін процестерде тұрақтандырғыш, солюбилизациялаушы, жұқтырғыш, көбік түзгіш, эмульсиялағыш ретінде кеңінен қолданылады. Композициялық БАЗ-дарды халық шаруашылығының көптеген саласында қолдану үшін олардың әртүрлі фазааралық шекарадағы қасиеттерін зерттеу қажет. БАЗ – полимер ассоциаттарының әрекеттесу заңдылықтары шетел және отандық ғалымдардың еңбектерінде [1, 2] анықталып, мұндай ассоциаттарды не комплекстерді БАЗ-дардың жаңа тобына жатқызуға болатыны көрсетілді. Сондықтан олардың әртүрлі фазааралық шекаралардағы жұқа қабаттарының түзілуі мен қасиеттерінің ерекшеліктері қызығушылық туғызуда. Сонымен қатар композициялық БАЗ-дарды қолданудың теориялық аспектілері олардың әртүрлі температурадағы адсорбциясының зерттелуін талап етеді. БАЗ-полимер комплекстерінің фазаларды бөлу шекарасындағы адсорбциясын термодинамика тұрғысынан қарастыру осы үдерістің табиғаты туралы мәлімет беріп, адсорбциялық қабаттардың құрылымын зерттеудің жанамалы әдісі болып табылады.

Осыған байланысты, жұмыста ионсыз полимер полиэтиленгликоль мен табиғаты әртүрлі, яғни анионды (натрий додецилсульфаты, ДДС), катионды (цетилпиридиний бромиді, ЦПБ) және ионсыз (Твин-80) беттік-активті заттардан тұратын композициялардың беттік керілулері өлшеніп, олардың адсорбциялық қабаттарына температураның әсері зерттелді.

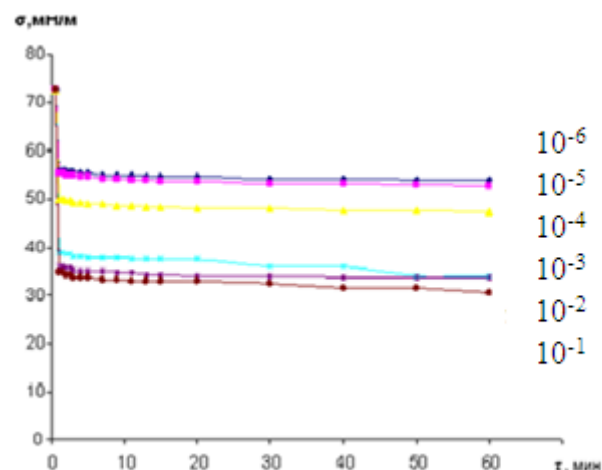
Полимер ретінде ионсыз полиэтиленгликольдің алыну себебі бейионды БАЗ-дар мен полимерлер улы емес, биоыдырағыш, яғни адам ағзасы мен қоршаған ортаға залалсыз. Сондықтан да олар тамақ, фармацевтикалық, косметикалық, тұрмыстық химия тауарларының өндірісінде кең қолданысқа ие.

1-4-суреттерде жеке компоненттердің, яғни цетилпиридиний бромид, натрий додецилсульфаты, Твин-80 және цетилпиридиний бромиді,

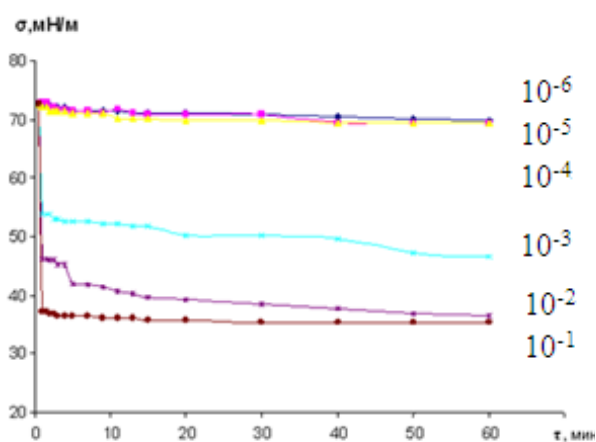
натрий додецилсульфаты, Твин-80-мен ассоциаттары ерітінділерінің беттік керілу төмендеуінің кинетикалық қисықтары келтірілген.



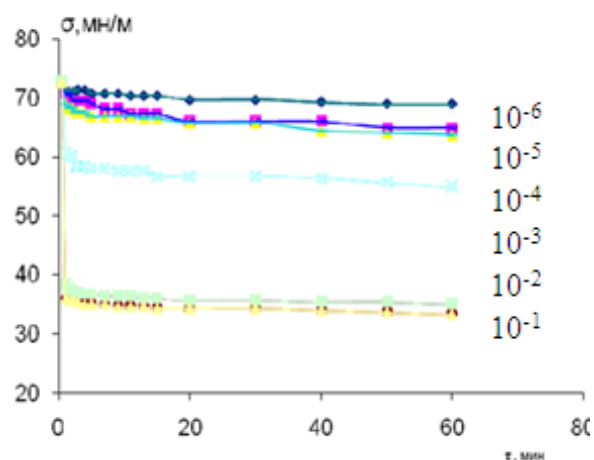
**1-сурет** – Полиэтиленгликольдің әртүрлі концентрациядағы беттік керілу төмендеуінің кинетикасы. T=293 К



**2-сурет** – Цетилпиридиний бромидінің әртүрлі концентрациядағы беттік керілу төмендеуінің кинетикасы. T=293К



**3-сурет** – Натрий додецилсульфатының әртүрлі концентрациядағы беттік керілу төмендеуінің кинетикасы. T=293К



**4-сурет** – Твин-80-нің әртүрлі концентрациядағы беттік керілу төмендеуінің кинетикасы. T=293К

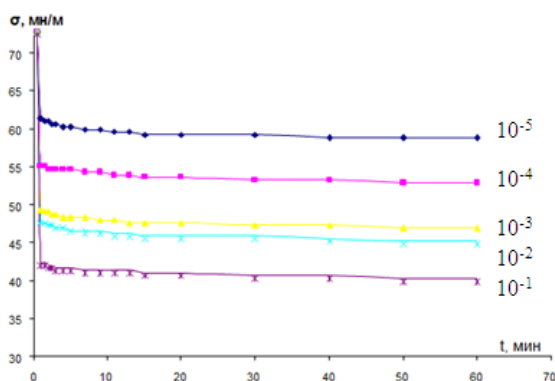
Кинетикалық қисықтар арқылы заттардың сұйық – газ шекарасындағы адсорбция жылдамдығын бағалауға болады. Алынған мәліметтер бойынша, ЦПБ, ДДС, ПЭГ аз концентрациясында фазааралық қабатта жылдам адсорбцияланып, олардың беттік керілуі тепе-теңдікті мәндеріне 5-10 минутта жетеді. Мұндай жағдай заттардың

молекулалық массасының төмен шамасымен түсіндіріледі.

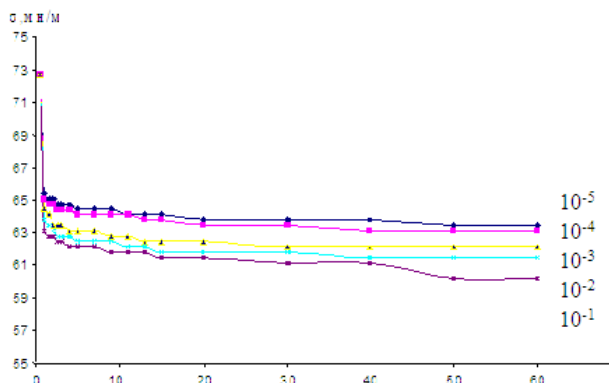
Мицелла түзгіш БАЗ – дар мен полимерлердің әрекеттесу ерекшеліктері беттік керілу изотермаларында бейнеленеді (5-7 суреттер). [3] жұмыстарында көрсетілгендей, ионгенді БАЗ – дарға полиэлектролит

қосқанда, МТКК-сы азаяды. [4] авторлары бойынша, мұндай жағдай ДДС пен полимер катионының арасындағы электрстатикалық әрекеттесуге байланысты. [5] авторлары бой-

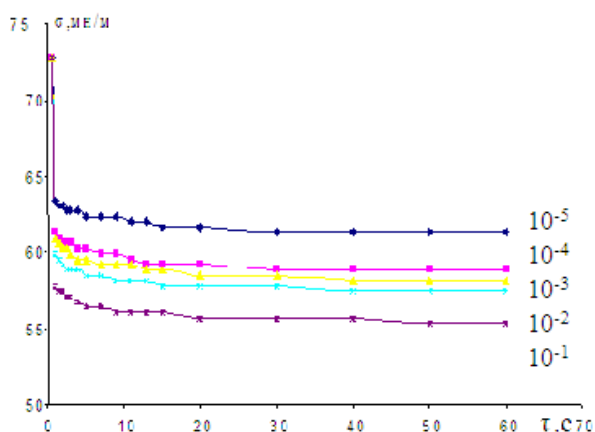
ынша, полиэлектролиттің қатысуымен БАЗ молекулалары өздерінің гидрофобты топтарымен полимер тізбегіне адсорбцияланып, мицеллалық агрегаттар түзіледі.



**5-сурет** –  $T=293\text{K}$ .  $C_{\text{пэг}}=1\cdot 10^{-1}$  негіз-моль/л.  
 $C_{\text{шб}}=1\cdot 10^{-5}, 1\cdot 10^{-4}, 1\cdot 10^{-3}, 1\cdot 10^{-2}, 1\cdot 10^{-1}$  моль/л  
 ПЭГ-цетилпиридиний бромиді қоспасының беттік керілу төмендеуінің кинетикасы



**6-сурет** –  $T=293\text{K}$ .  $C_{\text{пэг}}=1\cdot 10^{-1}$  негіз-моль/л.  
 $C_{\text{ддс_на}}=1\cdot 10^{-5}, 1\cdot 10^{-4}, 1\cdot 10^{-3}, 1\cdot 10^{-2}, 1\cdot 10^{-1}$  моль/л  
 ПЭГ-ДДСNa қоспасының беттік керілу төмендеуінің кинетикасы



**7-сурет** –  $T=293\text{K}$ .  $C_{\text{пэг}}=1\cdot 10^{-1}$  негіз-моль/л.  
 $C_{\text{твин-80}}=1\cdot 10^{-5}, 1\cdot 10^{-4}, 1\cdot 10^{-3}, 1\cdot 10^{-2}, 1\cdot 10^{-1}$  моль/л  
 ПЭГ-твин-80 қоспасының беттік керілу төмендеуінің кинетикасы

Ал ионсыз полимерге келетін болсақ, беттік-активті заттар мен полиэтиленгликоль арасында гидрофобтық әрекеттесулер арқылы нығайтылған сутектік байланыстар орын алады. Нәтижесінде тиімді орналасқан реттілігі жоғары, араласқан адсорбциялық қабат пайда болады.

Мұндай қорытындыны беттік активтіліктің ( $G$ ) шамалары да дәлелдейді (кесте 1).

Беттік керілудің изотермаларынан Ребиндердің теңдеуі бойынша

$$G = - \left( \frac{d\sigma}{d} \right)_{c \rightarrow 0} \quad (3)$$

жеке және композициялық беттік-активті заттардың беттік активтіліктері есептелді. І кестедегі нәтижелер көрсеткендей, беттік-активтіліктің шамалары едәуір өседі. Беттік активтіліктің, яғни адсорбциялану қабілеттіліктің мұндай өсуі полиэтиленгликольдің жоғары молекулалы табиғатына байланысты: макромолекуланың бөлу бетімен контактілер саны өседі (буындардың фазааралық бетімен кооперативті әрекеттесуі).

**1-кесте** – Беттік-активті заттардың беттік активтіліктері

Беттік-активті заттар	$G$ , мН/моль м
ПЭГ	5608
ДДСNa	19525
ТВИН-80	36325
ЦПБ	63465

Химиялық термодинамика мен коллоидтық химияның классикалық негіздеріне сәйкес отырып, полиэтиленгликоль, цетилпиридиний бромиді, Твин-80 және натрий додецилсульфатының адсорбциясының термодинамикалық параметр-

лері анықталды. ПЭГ, беттік-активті заттар және олардың ассоциаттарының адсорбция кезіндегі энтропияның өзгеруі

$$\Delta S = \left( -\frac{d\sigma}{dT} \right) \quad (4)$$

Теңдеуімен есептелді. Бұл теңдеу  $\Delta S$  шамасын беттік керілудің температуралық тәуелділіктерінен табуға мүмкіндік береді.

Эртүрлі температурадағы энтальпияның өзгеруі келесі теңдеуден анықталады:

$$\Delta H = \sigma_{\infty} + T \Delta S \quad (5)$$

мұндағы  $\Delta H$  – зерттелу жүргізілген  $T$  температурадағы энтальпияның өзгеруі, мДж/м<sup>2</sup>,  $\sigma_{\infty}$  – беттік керілудің тепе-теңдікті мәні, мН/м,  $T$  – температура, К,  $\Delta S$  – энтропияның өзгеруі, мДж/м<sup>2</sup>К.

Термодинамикалық параметрлерді есептеу нәтижелері кестелерде келтірілген. Кестелердің мәліметтері көрсеткендей, беттік-активті заттардың, полиэтиленгликольдің, олардың ассоциаттарының адсорбциясы энтропияның ұтысымен жүреді ( $\Delta S > 0$ ).

Адсорбцияның мұндай энтропиялық ұтысы Немети-Шераганың гидрофобтық әрекеттесулер теориясынан ерітікштің құрылымына, яғни адсорбция кезінде БАЗ радикалдары фазааралық қабатқа шыққанда, олардың манайындағы судың мұз тәрізді құрылымдарының бұзылуына байланысты. БАЗ-дардың адсорбциясындағы энтропия өсуінің себебі беттік қабатқа шыққанда, БАЗ молекуласындағы көмірсутектік радикалдардың айналу энтропиясы ұлғаяды.

**2-кесте** – Адсорбциялық қабаттардың термодинамикалық параметрлері

БАЗ және ПЭГ-БАЗ композициялары	$\Delta S$ , мДж/м <sup>2</sup> К	$\Delta H$ , мДж/м <sup>2</sup>
ПЭГ	0,175	186.4
ДДСNa	0,735	69.37
Твин-80	0,779	119.79
ЦПБ	0,490	133.38
ПЭГ+ДДСNa	0,335	107.60
ПЭГ+Твин-80	0,09	111.18
ПЭГ+ЦПБ	258.29	0,640

### Қорытынды

Сұйық – газ шекарасындағы БАЗ және полимердің адсорбциясының энтропиялық табиғаты жоғарыда айтылған екі фактор да негіздейді деуге болады, яғни су құрылымының бұзылу энтропиясының және көмірсутекті радикалдардың айналу энтропиясының өсуі. Жеке компоненттердің сұйық-газ шекарасындағы беттік керілуіне қарағанда натрий додецилсульфаты, цетилпиридиний бромиді, Твин-80-мен композицияларының беттік керілуі төмен. Полимер қосқанда беттік-активті заттардың беттік активтілігі өседі. Химиялық термодинамика мен коллоидтық химияның классикалық негіздерін ескере отырып, полиэтиленгликоль, цетилпиридиний бромиді, Твин-80 және натрий додецилсульфатының адсорбциясының термодинамикалық параметрлері анықталды.

### Әдебиеттер тізімі

- 1 Холмберг К., Иенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. - М.: БИНОМ. Лаборатория базовых знаний, 2007. – С.5-11.
- 2 Айдарова С.Б., Мусабеков К.Б., Поверхностное натяжение водных растворов дифильных полиэлектролитов // Коллоидный журнал. – 1979. – Т.41, №1. – С.117-120.
- 3 Харитонова Т.В., Иванова Н.И., Сумм Б.Д. Межмолекулярные взаимодействия в бинарных смесях катионного и неионогенного ПАВ // Коллоидный журнал. – 2002. – №5. – С.685–696.
- 4 Wen L., Paradopoulos K.D. Effects of osmotic pressure on water transport in W1/O/W2 Emulsions // Journal of Colloid and Interface Science. – 2001. – Vol.235. – P.398-404.
- 5 Харитонова П.В., Иванова Н.И., Сумм Б.Д. Адсорбция и мицеллообразование в растворах смесей бромид додецилпиридиния - неионогенное ПАВ // Коллоидный журнал. – 2002. – №2. – С.249-256.
- 6 Karpov S.V., Gerasimov V.S., Isaev I.L., Markel V.A. Local anisotropy and giant enhancement of local electromagnetic fields in fractal aggregates of metal nanoparticles // Physical Review B. – 2005. – Vol.72. – P.205-210.
- 7 Dimitrova T.D., Leal-Calderon F. Surface forces in model oil-in-water emulsions stabilized by proteins // Advances in Colloid and Interface Science. – 2004. – Vol.108-109. – P.73-86.
- 8 Mackie A.R. Structure of adsorbed layers of mixtures of proteins and surfactants // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2004. – Vol.9. – P.357-361.

9 Stepanov V.I. Orientational dynamics in magnetic fluids under strong coupling of external and internal relaxations. Books of abstracts of III Moscow International Symposium on Magnetism. Moscow: Moscow State University, 2005. – P.185.

10 Захарова Ю.А., Отдельнова М.В., Алиев И.И., Вассерман А.М., Касайкин В.А. Влияние фазовых переходов в растворах комплексов ионогенных ПАВ с противоположно заряженными полиэлектролитами на молекулярную подвижность ионов ПАВ во внутрикомплексных мицеллах // Коллоидный журнал. – 2002. – №2. – С.170-175.

11 Masalova I., Malkin A. Ya., Ferg E., Kharatiyan E., Taylor M., Haldenwang R. Evolution of rheological properties of highly concentrated emulsions with aging – Emulsion-to-suspension transition // Journal of Rheology. – 2006. – Vol.50. – P.435.

12 Антоненко И.В., Глухарева И.А., Плетнев Н.Ю. Влияние ПАВ-диспергаторов на размер частиц кальциевого мыла, образующихся в жесткой воде // Коллоидный журнал. – 2002. – №5. – С.581-584.

#### References

1 Holmberg K, Jonsson B, Kronberg B, Lindman (2007) Surfactants and polymers in aqueous solutions, Eds. John Wiley & Sons, UK, 1998. P.5-11. ISBN 978-5-94774-363-0

2 Musabekov KB, Aidarova SB (1979) Colloid J+ 41:117-120. (In Russian)

3 Haritonova TV, Ivanova NI, Summ BP (2002) Colloid J+ 5:685-696. (In Russian)

4 Wen L, Paradopoulos KD (2001) J Colloid Interf Sci 235: 398-404. <http://dx.doi.org/10.1006/jcis.2000.7384>

5 Haritonova TV, Ivanova NI, Summ BP (2002) Colloid J+ 2:249-256. (In Russian)

6 Karpov SV, Gerasimov VS, Isaev IL, Markel VA (2005) Phys Rev B 72:205-210. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.72.205425>

7 Dimitrova TD, Leal-Calderon F (2004) Adv Colloid Interfac 108-109:49-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.002>

8 Mackie AR (2004) Curr Opin Colloid In 9:357-361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cocis.2004.08.001>

9 Stepanov VI (2005) Orientational dynamics in magnetic fluids under strong coupling of external and internal relaxations. Books of abstracts of III Moscow International Symposium on Magnetism. Moscow State University, Moscow, Russia, 2005. P.185.

10 Zaharova YuA, Otdelnova MV, Aliev II, Vasserman AM, Kasaykin VA (2002) Colloid J+ 2:170-175. (In Russian)

11 Masalova I, Malkin AY, Ferg E, Kharatiyan E, Taylor M, Haldenwang R (2006) J Rheol 50:435. <http://dx.doi.org/10.1122/1.2206712>

12 Antonenko IV, Gluhareva NA, Pletnev MYu (2002) Colloid J+ 5:581-584. (In Russian). <http://dx.doi.org/10.1023/A:1020607021915>