

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

MALEIN TURŞUSU BİRGƏ POLİMERLƏRİNİN NATRİUM VƏ AMMONİUM DUZLARININ ALINMASI VƏ ONLARIN Cu²⁺ İONLARINA QARŞI SOBRSIYA XASSƏLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

İxtisas: 2304.01 - Makromolekullar kimyası

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Elnarə Ələddin qızı Şirinova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

SUMQAYIT - 2022

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: k.e.d., professor
Elçin Oqtay oğlu Əkbərov

Rəsmi opponetlər: k.e.d., professor
Nüşabə İsmayıl qızı Qurbanova
k.e.d., dosent
Nizami Allahverdi oğlu Zeynalov
k.ü.f.d., dosent
Reyhan Şahmərdan qızı Hacıyeva

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Polimer Materiallar İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.28 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın müxbir üzvü,
k.e.d., professor
Bəxtiyar Əjdər oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

k.ü.f.d., dosent
Xəyalə Vaqif qızı Allahverdiyeva

Elmi seminarın sədri:

k.e.d., professor
Nəcəf Tofiq oğlu Qəhrəmanov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hazırda su mənbələrində olan ağır metal ionları ən geniş yayılmış çirkləndiricilərdir ki, bu da ətraf mühit və əhalinin sağlamlığı üçün böyük problemlər yaradır. Atmosferə və tullantı sularına sənaye müəssisələri tərəfindən atılan tullantılar ağır metalların torpağa, yeraltı sulara və açıq su hövzələrinə, həmçinin bitkilərə, heyvanlara və nəticə etibarilə insan orqanizminə keçməsinə səbəb olur.

Təbii suların ən geniş yayılmış çirkləndiricilərindən biri mis birləşmələridir. Ətraf mühitə atılan mis birləşmələrinin əsas mənbələri dağ-mədən, metal emalı və ağac emalı müəssisələridir. Mis birləşmələri kənd təsərrüfatı bitkilərinin becərilməsində istifadə olunan miztərkibli pestisidlərdə də olur.

Hazırda suyun ağır metal ionlarından təmizlənməsi kifayət dərəcədə ciddi problemdir və suyun ağır metal birləşmələrindən müasir texnologiyalarla təmizlənməsi istiqamətindəki tədqiqatlar çox aktualdır. Buna görə suyun effektiv, ucuz və ekoloji təhlükəsiz təmizlənməsi metodlarının işlənilməsi və hazırlanması zəruridir. Adsorbentlərin səthində çirkləndiricilərin kontakt üsulu ilə sorbsiyasına əsaslanan ənənəvi sorbsiya metodu ağır metal ionlarının sulu məhluldan çıxarılmasında kifayət dərəcədə effektivdir. Deyilənləri nəzərə alaraq, malein turşusunun stiroil və allil qruplu monomerlərlə üçlü birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılmasına həsr olunmuş təqdim olunan işin mövzusu aktualdır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı natrium və ammonium duzları şəklində olan polimer-sorbentlər, tədqiqatın predmeti polimer duzların sorbsiya xassələrinin öyrənilməsi və mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması kimi tədqiqindən ibarətdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Təqdim olunan işin məqsədi malein turşusunun stiroil və allil qruplu monomerlərlə üçlü birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzlarının alınması üsulunun işlənilməsi və hazırlanması və alınan polimer-duzlarla mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması prosesinin tədqiq olunmasıdır. Qarşıya qoyulan məqsədin əldə edilməsi üçün aşağıdakı *vəzifələr* yerinə yetirilmişdir:

- Malein turşusu-stirol-allilpropionat, malein turşusu-stirol-hepten-1, malein turşusu-stirol-nonen-1, malein turşusu-stirol-desen-1 üçlü birgə polimerlərin, həmçinin, trietanolamn və qliserinlə tikilmiş tor quruluşlu malein turşusu-stirol-allilpropionat birgə polimerin ammonium duzunun alınma şəraitinin işlənilib hazırlanması və onların tərkibi və quruluşunun öyrənilməsi;
- Alınmış polimer duzların mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması üçün sorbent kimi istifadə olunma imkanının müəyyən edilməsi;
- Polimer duzların kütlə miqdarının, sorbsiya müddətinin, məhlulun pH-nın, mis (II) ionlarının ilkin qatılığının və temperaturun metal ionlarının sorbsiya dərəcəsinə və polimer sorbentlərin sorbsiya tutumuna təsirinin öyrənilməsi;
- Alınmış təcrübi nəticələrin Ləngimür, Frenclix, Dubinin-Raduşkeviç, Temkin modelləri çərçivəsində işlənməsi, sorbsiya prosesinin kinetik və termodinamik parametrlərinin təyini;
- Polimer-sorbentlərin sorbsiyadan əvvəl və sonra İQ-, UB-spektroskopiya, DTA-analiz üsulları ilə tədqiqi və mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılmasının ehtimal olunan mexanizminin araşdırılması,

Tədqiqat metodları. Bütün sintezlər Bakı Dövlət Universiteti, Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasında məlum metodlar üzrə həyata keçirilmişdir. Sorbentlərin spektral analizi UV-visible SPECORD 210 PLUS (Almaniya), İQ-Furye spektrlar isə Varian 3600 FTIR və Nicolet İS 10 FTIR (ABŞ) ilə aparılıb.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar.

- Üçlü birgə polimerlərin natrium və ammonium duzlarının alınması;
- Alınmış sorbentlərin mis ionlarını sulu məhlullardan çıxarılması üçün istifadə edilməsi;
- Alınmış polimer duzlarla mis ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasına aid təcrübi nəticələrin Ləngimür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç və Temkin modelləri tənliklərinin koordinatlarında işlənməsi və bu tənliklərin parametrlərinin təyin olunması;
- Sorbsiya prosesinin termodinamik parametrlərinin təyin edilməsi;
- Sorbsiyadan sonra sorbentlərin İQ-Furye və UB-spektroskopiya, TQ-DTA-analiz üsulları ilə tədqiqi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. İşdə ilk dəfə olaraq:

-malein turşusu-stirol-allilpropionat, malein turşusu-stirol-hepten-1, malein turşusu-stirol-nonen-1 və malein turşusu-stirol-desen-1 üçlü birgə polimerlərin natrium və ammonium duzları, həmçinin malein turşusu-stirol-allilpropionat üçlü birgə polimerin trietanolamin və qliserinlə tikilmiş tor quruluşlu polimerin ammonium duzu alınaraq xarakterizə olunmuşdur;

-mis(II) ionlarının sintez olunmuş polimer-sorbentlərlə effektiv şəkildə çıxarılmasını təmin edən şəraitin müəyyən edilməsi;

-sorbsiyanın izotermələri qurulmuş, polimer duzların eksperimental və maksimal sorbsiya tutumları təyin olunmuşdur;

-təcrübi nəticələr Ləngimür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç və Temkin tənliklərinin koordinatlarında işlənmiş və bu tənliklərin parametrləri təyin olunmuşdur;

-mis (II) ionlarının alınmış polimer-sorbentlərlə sulu məhluldan sorbsiyasının əsas kinetik və termodinamik parametrlərinin qiymətləri təyin edilmişdir;

-mis (II) ionlarının polimer sorbentlərlə sorbsiyasının xarakteri və mexanizmi haqqında mülahizələr verilmişdir.

İşin praktiki və nəzəri əhəmiyyəti. İlk dəfə olaraq malein turşusunun üçlü birgə polimerlərinin mis(II) ionlarını sulu məhluldan effektiv şəkildə sorbsiya edən natrium və ammonium duzları alınmışdır. Mis(II) ionlarının sulu məhluldan kifayət dərəcədə çıxarılmasını təmin edən şərait müəyyən edilmiş və sorbsiyanın ehtimal olunan mexanizmi haqqında fikir söylənilmişdir.

Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiyaya daxil olmuş əsas ideyalar, məsələlərin qoyuluşu və onların yerinə yetirilməsi, təcrübə sınaqlarının aparılması, alınan nəticələrin ümumiləşdirilməsi, məruzə və dərc olunması şəxsən müəllif tərəfindən həyata keçirilmişdir. Həmmüəllif olduğu elmi əsərlərdə iştirakı aparılan tədqiqatların istiqamətlərinin verilməsindən, qoyulmuş məsələlərin və eksperimentlərin metodikasının seçilməsindən və əsaslandırılmasından ibarət olmuşdur.

İşin aprobasiyası və dərc edilməsi. İşin əsas məzmunu aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə edilərək müzakirə olunmuşdur:

- "Monomerlər və polimerlər kimyasının müasir problemləri" III Respublika konfransı (Sumqayıt, 2015);
- Kimyanın aktual problemləri IX Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 2015);
- Analitik kimya kafedrasının 80 illiyinə həsr olunmuş VI Respublika Konfransı (Bakı, 2015);
- Kimyanın aktual problemləri X Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 2016);
- Kimyanın aktual problemləri XI Respublika Elmi konfransı (Bakı, 2017);
- Kimya, fizika, biologiya, riyaziyyat: nəzəri və tətbiqi tədqiqatlar XXXIII Beynəlxalq qiyabi elmi-praktiki konfransı (Moskva, 2020).

Dissertasiya materiallarına aid Respublika və Beynəlxalq jurnallarda 10 məqalə, o cümlədən impakt-faktorlu nüfuzlu jurnallarda 6 məqalə və 14 məruzə tezisləri çap olunmuşdur.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya giriş, ədəbiyyat icmalı, metodik və təcrübi hissələr, nəticələrin müzakirəsi, əsas nəticələr və 165 adda istifadə olunmuş istinad mənbələrindən ibarətdir. Dissertasiya kompüterdə yığılmış 159 səhifədən, 52 şəkil və 19 cədvəldən ibarətdir. İşin əsas hissəsi (şəkillər, cədvəllər, qrafiklər və ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla) 168603 (o cümlədən, Giriş – 9457, I fəsil – 48286, II fəsil – 24880, III fəsil – 33632, IV fəsil- 43478, Nəticə – 2862) işarədir.

Girişdə işin aktuallığı əsaslandırılmış, məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiə olunan əsas məsələlər ifadə edilmişdir.

Birinci fəsildə ağır metal ionlarının sulu məhlullardan sintetik və təbii polimer əsaslı sorbentlərlə sorbsiyası istiqamətində son 10-15 ildə dünyada aparılmış tədqiqat işlərinin icmalı verilmişdir.

İkinci fəsildə malein turşusunun və stiroulun, allilpropionat, hepten-1, nonen-1 və desen-1 ilə üçlü birgə polimerlərinin sintezi, trietanolamin və qliserinlə tikilməsi, eləcə də birgə polimerlərin natrium və ammonium duzlarının alınması göstərilmişdir.

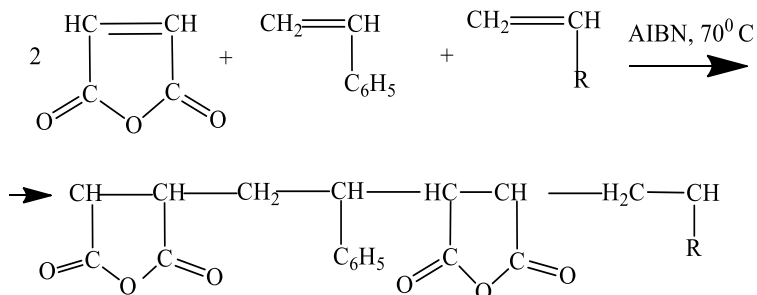
Üçüncü fəsil malein turşusu birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiya şəraitinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir.

Dördüncü fəsildə mis (II) ionlarının sintez olunmuş polimer-sorbentlərlə sulu məhluldan sorbsiyasının analitik, kinetik və termodinamik parametrlərinin təyini verilmişdir.

İş Bakı Dövlət Universitetinin "Yüksəkmolekullu birləşmələr kimyası kafedrasının elmi-tədqiqat işlərinin planına uyğun olaraq yerinə yetirilmişdir (qeydiyyat nömrəsi 0109AZ2135).

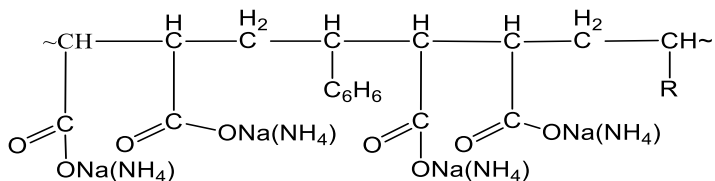
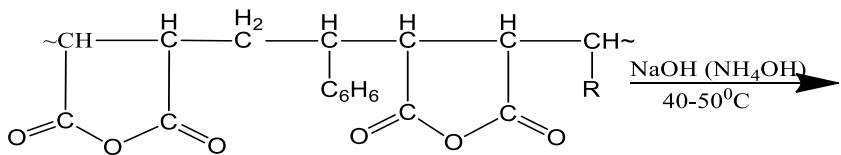
İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

1. Malein turşusunun allilpropionat, hepten-1, nonen-1 və desen-1 ilə üçlü birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzlarının sintezi. Malein turşusunun (MT) və strolun (St), allilpropionat (AP), hepten-1 (HP), nonen-1 (NO) və desen-1 (DS) ilə üçlü birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzları iki mərhələdə sintez olunmuşdur. Əvvəlcə malein anhidridi və strolun allilpropionat, hepten-1, nonen-1 və desen-1 ilə aşağıdakı sxem üzrə üçlü birgə polimeri alınmış,



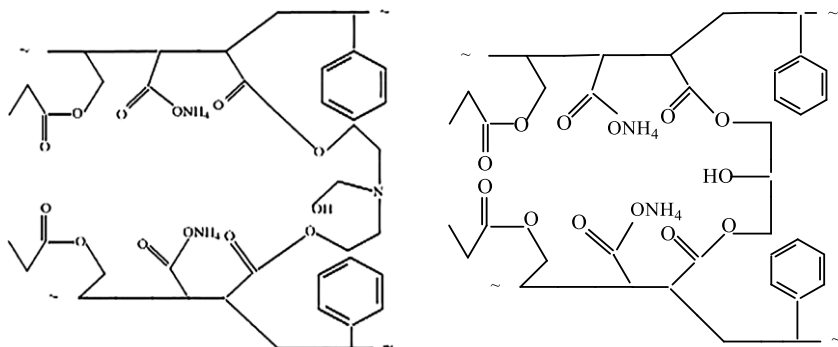
burada: R= -CH₂OCOCH₂CH₃, - (CH₂)₄CH₃, -(CH₂)₆CH₃, - (CH₂)₇CH₃

sonra isə alınmış birgə polimerlər NaOH və NH₄OH məhlulları ilə uyğun duzlara çevrilmişlər:



burada: R = $-\text{CH}_2\text{OCOCH}_2\text{CH}_3$, $-(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$, $-(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$,
 $(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$

Trietanolamin (TEA) və qliserinlə (QI) tikilmiş malein turşusu-stirol-allilpropionat üçlü birgə polimerin ammonium duzu da iki mərhələdə alınmışdır: MA-St-AP üçlü birgə polimerin TEA və QI ilə tikilməsi və alınan tor quruluşlu polimerin NH_4OH məhlulu ilə işlənməsi. Alınan duzların fraqmentləri aşağıda verilir:



Polimer duzlarının çıxımı 69-78%. Sintez olunmuş natrium və ammonium duzları mis(II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması üçün sorbent kimi istifadə edilmişdir.

2. Malein turşusu birgə polimerlərinin natrium və ammonium duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiya şəraitinin öyrənilməsi. Metal ionları ilə sorbentin fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsirinə əsaslanan ağır metal ionlarının sorbsiya prosesinə müxtəlif amillər təsir göstərir. Digər amillər içərisində ən xarakter və əsas amillər mühitin xarakteri, sorbsiya müddəti, sorbentin kütlə miqdarı,

metal ionlarının ilkin qatılığı və temperaturdur. Bu amillərin sorbsiya prosesinə təsirinə aid təcrübi nəticələr sorbsiya izotermələri modellərinin, prosesin kinetik və termodinamik analizi üçün istifadə olunur ki, sonuncular əsasında sorbsiyanın ehtimal olunan mexanizmi haqqında fikir söyləməyə imkan verir. Deyilən amillərin sorbsiya prosesinə təsiri öyrənilərkən CuSO_4 -ün müxtəlif qatılıqlı sulu məhlullarından, kompleks əmələgətirici kimi ksilenol narıncının 0.001 M məhlulundan və $\text{NH}_4\text{OH}/\text{CH}_3\text{COOH}$ bufer məhluldan istifadə edilmişdir. Mis(II) ionlarının sorbsiyadan sonrakı qalıq qatılığı fotometrik metodla, dərəcəli əyridən istifadə etməklə təyin olunmuşdur. Sorbsiya dərəcəsi $R(\%)$ və tarazlıq sorbsiya tutumu q_e ($q \cdot L^{-1}$ və ya $\text{mol} \cdot q^{-1}$) aşağıdakı formullarla hesablanmışdır.

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100\%$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V_{\text{sol}}}{m_{\text{sorb}}}$$

C_0 və C_e - mis (II) ionlarının ilkin və qalıq qatılıqları qL^{-1} və ya $\text{mol}L^{-1}$, V -sorbsiya üçün götürülən CuSO_4 məhlulunun qatılığı (L), m - sorbent kütləsidir (q).

2.1.Məhlulun pH-nın sorbentin sorbsiya qabiliyyətinə təsiri.

pH-ın sorbentlərin Cu^{2+} ionlarına qarşı qabiliyyəti digər amillər sabit qalmaqla $\text{pH}=3-9$ həddində öyrənilmişdir. pH-ın uyğun qiymətləri asetat bufer məhlulla alınır. pH-ın mis ionlarının sulu məhluldan sorbsiya dərəcəsinə təsiri MT-AP-St-TEA- NH_4 sorbenti misalında öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qüvvətli turşu mühitdə ($\text{pH}=3$) mis ionlarının sorbsiyası çox yavaş gedir; bu, mis ionlarının hidrogen ionları ilə əvəz olunması ilə gedən sorbsiya-desorbsiya tarazlığının yaranması ilə əlaqədardır. Sorbsiya dərəcəsinə pH-ın 4-6 qiymətində xeyli yüksələrək $\text{pH}=6$ -da maksimuma çatır. Bu fakt, adsorbentin səthində mənfi yüklərin artması nəticəsində səthlə metal ionları arasında elektrostatik cazibə qüvvələrinin artması ilə əlaqədardır. pH-ın sonrakı artımı (7.0-9.0) mis (II) ionlarının hidroksil ionları ilə tutulmasına səbəb olur ki, bunun da nəticəsində sorbsiya dərəcəsi azalır.

2.2.Sorbsiya dərəcəsinə sorbentin kütlə miqdarının təsiri.

Sorbentin miqdarı 0.375-3.75 qL^{-1} həddində dəyişdirilmişdir.

Sorbsiyanın müəyyən şəraitində sorbentın miqdarının artırılması sorbsiya dərəcəsinə artırır. Bu, sorbentın müəyyən miqdarına qədər davam edir və sorbentın miqdarının sonrakı artımı mis ionlarının sorbsiya dərəcəsinə praktiki olaraq təsir etmir. MT-AP-St-Na və MT-AP-St-NH₄ sorbentləri üçün kütlə miqdarı uyğun olaraq, 2.0 və 2.5 qL⁻¹, MT-HP-St-NH₄, MT-HP-St-Na, MT-NO-St-Na, MT-NO-St-NH₄, MT-Ds-St-Na, MT-Ds-St-NH₄ sorbentləri üçün 1.25 qL⁻¹, MT-AP-St-TEA-NH₄ və MT-AP-St-QI-NH₄ sorbentləri üçün 2.5 qL⁻¹-dir. Sorbentın miqdarının müəyyən qiymətindən sonra sorbsiya dərəcəsinin sabitləşməsi, sorbent səthinin aktiv reaksiya mərkəzlərinin azalması ilə əlaqədar ola bilər. Bu effektin sorbsiyanın gedişində mis ionlarının qatılığının azalması ilə əlaqədar olmasında istisna deyil.

2.3.Sorbsiya dərəcəsinə sorbsiya müddətinin təsiri. Mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılma dərəcəsi (sorbsiya dərəcəsi) mis ionlarının qatılığının, sorbentlərin kütləsinin, temperaturun və sorbsiya üçün götürülən məhlulun müəyyən qiymətlərində öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sorbsiya şəraitinin digər parametrlərindən asılı olmayaraq, mis ionlarının sorbsiya dərəcəsi sorbsiya müddətinin artırılması ilə artaraq 70-80%-ə çatır. Lakin, sorbsiya dərəcəsinin praktiki olaraq sabit qiymətinin müşahidə olunduğu sorbsiya müddəti ayrı-ayrı sorbentlər üçün fərqlidir. MT-AP-St-Na və MT-AP-St-NH₄ sorbentləri üçün tarazlıq halı 180 dəq (sorbsiya dərəcəsi 69.7-72.8 %), MT-HP-St-Na və MT-HP-St-NH₄ sorbentləri üçün 90 dəq (sorbsiya dərəcəsi 76.0-76.9 %) müddətində yaranır. MT-NO-St-Na və MT-NO-St-NH₄ sorbetnlər üçün 110 dəq (sorbsiya dərəcəsi 75.0-76.3%) müddətinə yaranır. MT-Ds-St-Na, MT-Ds-St-NH₄, MT-AP-St-TEA-NH₄ və MT-AP-St-QI-NH₄ sorbentləri halında tarazlıq 120 dəq müddətində alınır (sorbsiya dərəcəsi uyğun olaraq 71.0-74.3 və 70.1-72.1 %).

2.4.Sorbsiya dərəcəsinin temperaturdan asılılığı. Metal ionlarının sorbsiya dərəcəsinə və sorbentın sorbsiya tutumuna təsir edən amillərin ən mühümlərindən biri prosesin aparıldığı temperaturdur. Sorbsiya dərəcəsi birbaşa metal ionlarının kinetik enerjisi ilə əlaqədardır və deməli, temperaturun yüksəlməsi və ya azalması sorbent tərəfindən adsorbsiya olunan ionların miqdarının dəyişməsinə səbəb olmalıdır. Mis (II) ionlarının sintez olunmuş

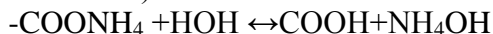
polimer-sorbentlərlə 20,30,40°C temperaturlarda sorbsiya dərəcələrinə aid nəticələr 1-ci cədvəldə verilir.

Cədvəl 1. Sorbsiya dərəcəsinin (R) və sorbsiya tutumunun (q_e) temperaturdan asılılığı ($C_0=0.32 \text{ qL}^{-1}$, $m_{sor}=1,25 \text{ qL}^{-1}$, pH 6, kontakt müddəti 60 dəq, $V=0.04 \text{ L}$)

Sorbent	20°C		30°C		40°C	
	$R, \%$	q_e, qq^{-1}	$R, \%$	q_e, qq^{-1}	$R, \%$	q_e, qq^{-1}
* MT-AP-St-Na	69.7	0.557	74.6	0.597	78.5	0.627
* MT-AP-St-NH ₄	72.8	0.582	69.1	0.553	66.9	0.535
MT-HP-St-Na	72.2	0.186	81.3	0.208	87.6	0.224
MT-HP-St-NH ₄	74.3	0.191	66.2	0.17	58.8	0.15
MT-NO-St-Na	70.4	0.181	75.8	0.194	80.1	0.215
MT-NO-St-NH ₄	72.3	0.188	68.2	0.183	64.5	0.178
MT-DS-St-Na	68.8	0.176	79.3	0.2	90.6	0.23
MT-DS-St-NH ₄	72.3	0.185	66.7	0.171	62.2	0.159
MT-AP-St-TEA-NH ₄	77.7	0.1	79.6	0.102	81.5	0.104
MT-AP-St-QI-NH ₄	78.3	0.1	81.3	0.104	83.5	0.107

2.5.Sorbsiya dərəcəsinin və sorbentın tarazlıq sorbsiya tutumunun mis (II) ionlarının sulu məhlulda ilkin qatılığında asılılığı. Metalın ilkin qatılığı ionların məhlulla sorbentın bərk səthi arasında paylanma dərəcəsinə müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Metal ionlarının sorbent tərəfindən sorbsiyasının mahiyyəti ionların sorbentın sərbəst aktiv mərkəzlərinə koordinasiyasından ibarətdir ki, bunun nəticəsində metal ionu ilə sorbent arasında fiziki və ya kimyəvi qarşılıqlı təsir yaranır. Bu isə məhlulda metal ionlarının qatılığında çox asılıdır. Sorbsiyanın nəticələrinə mis (II) ionlarının məhlulda ilkin qatılığının təsirini müəyyən etmək üçün, sorbsiya şəraitinin başqa parametrləri sabit saxlanılmaqla mis (II) ionlarının müxtəlif qatılıqlarında sorbsiya dərəcəsi və sorbentlərin sorbsiya tutumları təyin olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, bütün öyrənilən sorbentlər üçün metal ionlarının ilkin qatılığının artırılması sorbsiya dərəcəsinin azalmasına, sorbsiya tutumunun artırılmasına səbəb olur. Sorbsiya dərəcəsinin azalması iki səbəblə əlaqədar ola bilər, birinci, sorbsiyanın gedişində sorbentın sərbəst aktiv mərkəzlərin sayı azalır, bu isə sorbsiya olunan ionların miqdarının azalmasına səbəb olur, ikinci,

qatılılıq artdıqca məhlulun ion qüvvəsi artdığından mis (II) ionlarının aktivliyi azalır və buna görə də sorbsiya dərəcəsi və sorbsiya tutumlarının müqayisəsi göstərir ki, ammonium duzları üçün nəticələr nisbətən yüksəkdir. Bu effekt, görünür ki, natrium və ammonium duzlarının sulu məhlulda fərqli dissosiasiya dərəcələri ilə əlaqədardır. Mis (II) ionlarının $-\text{COONa}$ və $-\text{COONH}_4$ qrupları ilə mübadilə reaksiyası və kompleksləşməsi başqa amillərlə yanaşı, həm də bu qrupların sulu mühitdə hidroliz dərəcəsindən asılıdır (məsələn, natrium asetat və ammonium asetatın hidroliz sabiti uyğun olaraq 5.7×10^{-10} və 5.55×10^{-3} -dür). Ammonium duzlarının hidrolizində



tarazlığı zəif elektrolitin əmələ gəlməsi səbəbilə sağ tərəfə yönəlir, bu isə, mis (II) ionlarının karboksil qrupu ilə qarşılıqlı təsiri üçün əlverişli şərait yaradır. Qeyd edilməlidir ki, mis (II) ionlarının müxtəlif qatılıqlarında alınmış təcrübi nəticələr, sorbentlərin tarazlıq sorbsiya tutumunun təyini üçün sobsiya izotermlərinin qurulmasında, həmçinin, Ləngimür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç (D-R) və Temkin modelləri üzrə sorbsiya parametrlərinin təyində istifadə olunmuşdur.

3.Mis (II) ionlarının sintez olunmuş polimer-sorbentlərlə sulu məhluldan sorbsiyasının analitik, kinetik və termodinamik parametrlərinin təyini

3.1.Sorbsiya izotermləri. Sorbsiya hadisəsinin şərhini üçün geniş yayılmış üsul eksperimental sorbsiya izotermləridir. Sorbsiya izotermləri sorbsiya qabiliyyətinin və ya sorbsiya tutumunun sabit temperaturda sorbsiya olunan komponentin məhlulda olan qatılığından asılılığını xarakterizə edir. Sintez olunmuş polimer-sorbentlərlə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiya izotermləri tarazlıq sorbsiya tutumunun (q_e) mis (II) ionlarının müxtəlif ilkin qatılıqlarında (C_0) ionların tarazlıq qatılıqlarından (C_e) asılılığı şəklində qurulmuşdur. Bu asılılığı ifadə edən əyrinin düzxətli hissəsinə uyğun qiymət sorbentin eksperimental sorbsiya tutumu (q_{exp}) kimi götürülmüşdür. Sintez olunmuş üçlü birgə polimerlərin natrium və ammonium duzlarının bu üsulla təyin olunmuş eksperimental sorbsiya tutumları aşağıda verilir:

MT-AP-St- Na	0,71 qq ⁻¹
MT-AP-St-NH ₄	1,05 qq ⁻¹
MT-HP-St- Na	0,518 qq ⁻¹
MT-HP-St-NH ₄	0,556 qq ⁻¹
MT-NO-St- Na	0,45 qq ⁻¹
MT-NO-St-NH ₄	0,66 qq ⁻¹
MT-Ds-St- Na	0,512 qq ⁻¹
MT-Ds-St-NH ₄	0,54 qq ⁻¹
MT-AP-St-TEA- NH ₄	0,322 qq ⁻¹
MT-AP-St-QL-NH ₄	0,336 qq ⁻¹

Göründüyü kimi, natrium və ammonium duzlarına nisbətən ammonium duzlarının eksperimental sorbsiya tutumu bir qədər yüksəkdir; bu, görünür ammonium duzlarının hidroliz dərəcəsinin böyük olması ilə əlaqədardır. Bundan başqa, tor quruluşlu ammonium duzlarının eksperimental sorbsiya tutumu xətti quruluşlu uyğun duzların sorbsiya tutumundan aşağıdır. Bu hal, bizim fikrimizcə, tor quruluşlu sorbentlərdə karboksilat qruplarının nisbi miqdarının az olması ilə əlaqədardır (malein turşusunun bir karboksil qrupu tikici agentlər olan TEA və QL-lə əlaqədərdir).

Təcrübi sorbsiya tutumlarına aid nəticələri nəzərə alaraq belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, sintez olunmuş polimer duz-sorbentlər mis (II) ionlarına qarşı kifayət dərəcədə yüksək sorbsiya xassələri göstərirlər.

3.2.Təcrübi nəticələrin Ləngimür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç və Temkin modelləri tənliklərinin koordinatlarında işlənməsi.

3.2.1.Ləngimür modeli. Ləngimür modelinin adsorbsiya nəzəriyyəsinin əsas ideyası adsorbatla adsorbent səthindəki adsorbsiya mərkəzləri arasında kvazikimyəvi reaksiyanın baş verməsi təsəvvürünə əsaslanır. Ləngimür tənliyinin xətti forması aşağıdakı şəkildə verilir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max}} C_e$$

burada: C_e-sorbətin tarazlıq qatılığı (molL⁻¹ və ya qL⁻¹), q_e- sorbətin müxtəlif qatılıqlarında sorbsiya tutumu (molq⁻¹ və ya qq⁻¹), q_{max}-sorbentin maksimum sorbsiya tutumu (qq⁻¹ və ya mqq⁻¹), K_L -sorbətin enerjisini xarakterizə edən Ləngimür tənliyinin sabiti (Lmol⁻¹).

Sorbata adsorbent arasında qohumluq və ya sorbentin müəyyən sorbata qarşı sorbsiya qabiliyyəti aşağıdakı bərabərliklə müəyyən olunan adsız R_L parametri ilə xarakterizə olunur:

$$R_L = 1 / (1 + K_L C_0)$$

burada: K_L -Ləngimür tənliyinin sabiti, C_0 -məhlulda sorbatın ilkin qatılığı (molL^{-1} və ya mmolL^{-1} və ya qL^{-1} və ya mqL^{-1}).

R_L əmsalının qiymətinə görə adsorbsiya prosesi aşağıdakı kimi qiymətləndirilə bilər: əgər $0 < R_L < 1$, onda sorbsiya şəraiti əlverişlidir, əgər $R_L > 1$ olarsa, sorbsiya şəraiti əlverişli deyil, $R_L = 1$ halında isə sorbsiya xətti xarakter daşıyır, əgər $R_L = 0$, onda sorbsiya prosesi dönməyəndir. Mis (II) ionlarının alınmış natrium və ammonium duzları ilə sulu məhluldan sorbsiyasına aid təcrübi nəticələr Ləngimür tənliyinin $C_e/q_e = f(C_e)$ koordinatlarında işlənərək alınan qrafikdən maksimum sorbsiya tutumu q_e və K_L parametrlərinin qiymətləri hesablanmışdır. Mis (II) ionlarının ilkin qatılıqları üçün K_L -in qiyməti nəzərə alınmaqla adsız R_L parametrinin qiyməti hesablanmışdır. Alınan nəticələr 2-ci cədvəldə verilmişdir. Cədvəldən görünür ki, sintez olunan bütün polimer-sorbentlərlə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyası yüksək korrelyasiya əmsalları (0.9891-0.9996) ilə Ləngimür modeli ilə ifadə olunur. Nəticələr həmçinin göstərir ki, ammonium duzları ilə alınan maksimum sorbsiya tutumları natrium duzlarına nisbətən yüksəkdir. Sorbentlər üçün $0 < R_L < 1$ şərti ödənilir ki, bu da alınan natrium və ammonium duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının əlverişli olduğunu göstərir.

Cədvəl 2. Sintez olunmuş sorbentlərlə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyası üçün Ləngimür tənliyinin parametrləri.

Sorbent	q_{max}		K_L		R_L	R^2
	qq^{-1}	$molq^{-1}$	Lq^{-1}	$Lmol^{-1}$		
MT-AP-St-Na	0,75	0,0117	2,05	0,032	0,433-0,07	0,9996
MT-AP-St-NH ₄	1,258	0,0197	2,02	0,0316	0,456-0,072	0,999
MT-HP-St-Na	0,735	0,0115	3,659	0,057	0,631-0,176	0,997
MT-HP-St-NH ₄	0,819	0,0128	3,745	0,059	0,625-0,173	0,9957

MT-NO-St-Na	0,545	0,0085	5,0	0,078	0,555-0,03	0,9917
MT-DS-St-Na	0,722	0,0113	3,175	0,0496	0,663-0,177	0,9921
MT-DS-St-NH ₄	0,754	0,0118	4,136	0,0646	0,602-0,161	0,9891
MT-AP-St-TEA-NH ₄	0,433	0,0068	4,545	0,071	0,579-0,149	0,9956
MT-AP-St-QI-NH ₄	0,462	0,0072	4,255	0,067	0,595-0,155	0,9942

3.2.2.Freyndlix modeli. Ləngimür modeli energetik cəhətdən ekvivalent adsorbsiya mərkəzlərinə malik adsorbentdə monomolekulyar adsorbsiya prosesləri üçün ödənilir. Qeyri həmcins səthə malik sorbentlər üçün təcrübi nəticələrin Freyndlix modelinin empirik tənliyi istifadə olunur:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

burada: K_F - nisbi sorbsiya qabiliyyətini göstərən sabit (qq^{-1} və ya $molq^{-1}$); q_e -sorbataın müxtəlif qatılıqlarında sorbsiya tutumu ($molq$); n -metal atomu ilə adsorbent arasındakı rabitə enerjisinə uyğun parametrlər olub, sorbent-sorbat qarşılıqlı təsirin intensivliyini göstərir.

Əgər $n < 1$, rabitə enerjisi artır, $n > 1$ halında sorbentin səthi dolduqda sorbent-sorbat rabitə enerjisi azalır; $n = 1$ olduqda bütün sorbsiya mərkəzləri ekvivalentdir. Əgər $0 < (1/n) < 1$, onda sorbsiya xemisorbsiya xarakterlidir.

Alınan təcrübi nəticələrin $\log q_e = f(\log C_e)$ koordinat sistemində qurulmuş qrafiklərdən K_F , n , $(1/n)$ -in qiymətləri hesablanmış və alınan nəticələr 3-cü cədvəldə verilən və sorbentlərin nisbi sorbsiya tutumunu xarakterizə edən K_F -in qiymətləri kifayət qədər yüksəkdir və Ləngimür tənliyindən alınan qiymətlərə uyğundur (2-ci cədvəl).

Cədvəl 3. Freyndlix tənliyinin parametrləri

Sorbent	Parametrlər			
	K_F	$1/n$	n	R^2

	qq^{-1}	$mol q^{-1}$			
MT-AP-St- Na	0,662	0,0103	0,4034	2,48	0.9132
MT-AP-St-NH ₄	0,73	0,0114	0,4241	2,353	0.9242
MT-HP-St- Na	0,742	0,0116	0,6018	1,659	0.9827
MT-HP-St-NH ₄	0,878	0,0137	0,6222	1,607	0.9852
MT-NO-St-Na	0,603	0,0094	0,4012	2,492	0.9842
MT-DS-St- Na	0,725	0,01133	0,6169	1,62	0.9908
MT-DS-St-NH ₄	0,809	0,0126	0,6148	1,6265	0.9867
MT-AP-St- TEA-NH ₄	0,4736	0,0074	0,588	1,70	0.9854
MT-AP-St-QL- NH ₄	0,504	0,0079	0,6038	1,656	0.9877

Bütün sorbentlər üçün I/n parametri 1 vahiddən kiçikdir, bu isə sorbsiya prosesinin kimyəvi xarakterini göstərir. Bütün sorbentlər üçün $n > 1$ olması mis(II) ionları ilə sorbentlər arasında qarşılıqlı təsirin intensiv olduğunu göstərir.

3.2.3. Dubinin-Raduşkeviç modeli (D-R). Ləngimür və Freyndlix modellərinin adsorbsiya proseslərinin öyrənilməsində geniş istifadə olunmasına baxmayaraq onlar adsorbsiyanın mexanizmi haqqında heç bir məlumat vermirlər. D-R izoterm modeli Ləngimür modelinə nisbətən daha ümumdür və bu modelin tənliyinin sabitlərinə görə sorbsiyanın fiziki və kimyəvi xarakteri haqqında fikir yürütmək olar. D-R modelinin tənliyi aşağıdakı şəkildə verilir

$$\ln q_e = K_D \varepsilon^2 + \ln B_{DR}$$

Burada: K_D - adsorbsiya enejiyi ilə əlaqədar olan sabit ($mol^2 \kappa C^2$), q_e - sorbatın müxtəlif qatılıqlarında sorbsiya tutumu ($molq^{-1}$, $mmolq^{-1}$, və ya qq^{-1} və ya mqq^{-1}), B_{DR} – sorbsiya mərkəzlərin tam doymuş halına uyğun maksimum sorbsiya tutumu ($molq^{-1}$, $mmolq^{-1}$), ε - bir mol metal ionunun məhluldan sorbent səthinə keçməsinin izotermik işini əks etdirən Polyani potensialı ($\kappa C mol^{-1}$).

ε aşağıdakı ifadə ilə müəyyən olunur:

$$\varepsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$$

burada: R -universal qaz sabiti ($8,314 \text{ Cmol}^{-1} K^{-1}$), C_e - sorbatın tarazlıq qatılığı ($molL^{-1}$, $mmolL^{-1}$, və ya qL^{-1} или $mq L^{-1}$). D-R

modelinin tənliyində olan K_D sərbəst sorbsiya enerjisi ilə (E) aşağıdakı kimi əlaqədardır.

$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_D}}$$

Hesab olunur ki, $8 < E < 16$ kC mol⁻¹ halında adsorbsiya kimyəvi, $E < 8$ kC mol⁻¹ halında isə adsorbsiya fiziki xarakter daşıyır.

Mis (II) ionlarının sintez olunmuş polimer-sorbentlərlə sorbsiyasının mexanizmi haqqında məlumat almaq üçün təcrübi nəticələr D-R modeli tənliyi koordinatlarında işlənmişdir. $\ln q_e = f(\varepsilon^2)$ asılılığı qurularaq alınan düzxəttin tənliyindən K_D и B_{DR} -in qiymətləri tapılmışdır.

Eksperimental nəticələr əsasında q_e , C_e və ε üçün hesablanmış qiymətlərə görə hər bir polimer-sorbent üçün $\ln q_e = f(\varepsilon^2)$ asılılığının qrafiki qurulmuş və B_{DR} , K_D və E parametrləri hesablanmışdır. Alınan nəticələr 4-cü cədvəldə verilmişdir. Cədvəldə verilənlər əsasında mis (II) ionlarının alınmış polimer-sorbentlərlə sorbsiyası haqqında aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

1. Bütün sorbsiya mərkəzlərinin tam doyması halında sorbentlərin sorbsiya tutumu (B_{DR}) kifayət dərəcədə yüksəkdir (0.8915-1.837 qq^{-1} və ya 0.01393-0.0287 $molq^{-1}$).

2. K_D -nin qiymətlərinə görə hesablanmış sorbsiyanın sərbəst enerjisi E 8.0 kCmol⁻¹ qiymətə yaxın və ya ondan böyükdür, bu isə mis (II) ionlarının sorbentlərlə qarşılıqlı təsirinin kimyəvi (ion dəyişmə) xarakterli olduğunu sübut edir.

Cədvəl 4. Dubinin-Raduşkeviç tənliyinin parametrləri

Sorbent	Parametrlər				
	K_D	B_{DR}		$E, \text{kC mol}^{-1}$	R^2
		$\text{Mol } q^{-1}$	$q \text{ } q^{-1}$		
MT-AP-St- Na	0,00257	0,257	1,645	7,813	0,9686
MT-AP-St-NH ₄	0,0081	0,0285	1,824	7,874	0,9728
MT-HP-St- Na	0,0086	0,0252	1,613	7,634	0,9958
MT-HP-St-NH ₄	0,0086	0,0287	1,837	7,634	0,9963
MT-DS-St- Na	0,0088	0,025	1,6	7,838	0,9978
MT-DS-St-NH ₄	0,0086	0,027	1,728	7,634	0,9975
MT-AP-St-TEA-NH ₄	0,0077	0,1393	0,8915	8,066	0,9962

MT-AP-St-QL-NH ₄	0,0075	0,01413	0,904	8,17	0,9914
-----------------------------	--------	---------	-------	------	--------

3.2.4. Temkin modeli. Temkin modeli adsorbatla adsorbentin dolayı yolla qarşılıqlı təsirini nəzərdə tutur, belə qarşılıqlı təsir nəticəsində təbəqədə (layda) olan bütün molekulların adsorbsiya istiliyi xətti olaraq azalır. Temkin izoterminin tənliyi aşağıdakı şəkildə verilir

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e$$

$$B = RT/b_T$$

burada: B - kimyəvi rabitə enerjisi ilə əlaqəli olan sorbsiya istiliyidir ($kC \cdot mol^{-1}$), A_T -adsorbsiya mərkəzi ilə metal ionları arasındakı qarşılıqlı təsiri nəzərə alan Temkin izoterminin tarazlıq sabitidir, R -universal qaz sabiti, b_T -izoterm sabiti, T -temperaturdur (K).

Alınmış təcrübi nəticələr Temkin tənliyi koordinatlarında işlənmiş və hesablamaların nəticələri 5-ci cədvəldə verilmişdir. Cədvəldə verilmiş nəticələr mis (II) ionlarının sorbentlərin sorbsiya mərkəzlərilə yüksək əlaqə enerjisinə malik olduqlarını sübut edir ($A_T=1324-3436 L \cdot mol^{-1}$).

Cədvəl 5. Temkin tənliyinin parametrləri.

Sorbent	Parametrlər			
	$A_T, L \cdot mol^{-1}$	$B, kC \cdot mol^{-1}$	$b_T, kC \cdot mol^{-1} \cdot 10^{-6}$	R^2
MT-AP-St- Na	1324	3,7	6,58	0,9792
MT-AP-St-NH ₄	1800	4,1	5,94	0,9804
MT-HP-St- Na	2844	2,4	1,05	0,9872
MT-HP-St-NH ₄	3090	2,6	0,937	0,9854
MT-DS-St- Na	2123	2,4	1,015	0,9783
MT-DS-St-NH ₄	2355	2,6	0,937	0,9812
MT-AP-St-TEA-NH ₄	3436	1,4	1,74	0,9833
MT-AP-St-QL-NH ₄	2979	1,5	1,62	0,9776

Sorbsiya istiliyini xarakterizə edən B parametrlərinin qiyməti 0.0014-0.0041 $kC \cdot mol^{-1}$ -dir.

3.3. Sintez olunmuş sorbentlərlə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının kinetikasi

Adsorbsiya proseslərinin öyrənilməsində kinetik parametrlərin tədqiqi çox mühümdür, çünki, kinetik göstəricilərə görə prosesin gedişini izləmək mümkündür, həm də bu göstəricilər adsorbsiya sürətini müəyyən edən amillər haqqında məlumatlar verir. Adsorbsiya prosesini araşdırmaq üçün müxtəlif kinetik modellər istifadə olunur. Psevdo birinci və psevdo ikinci tərtib modelləri sorbsiya kinetikasının tədqiqində daha çox istifadə olunur. Ləqərqren birinci və ikinci tərtib modellərinin tənlikləri ağır metal ionlarının sulu məhluldan sorbsiyası üçün geniş miqyasda tətbiq olunur. Bu tənliklərin xətti ifadələri aşağıdakı kimidir:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - 0,434k_1 t$$

$$t/q_t = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

burada: $k_1(L \cdot d\text{əq}^{-1})$ və $k_2 (qq^{-1} \cdot d\text{əq}^{-1})$ sabitləri uyğun olaraq psevdo birinci və psevdo ikinci tərtib reaksiyaların tarazlıq sürət sabitləri, $q_e (qq^{-1})$ - tarazlıq halında bir qram sorbetin adsorbsiya etdiyi metalın miqdarı, $q_t (qq^{-1})$ - zamanla sorbsiya tutumudur. $\log(q_e - q_t) = f(t)$ və $t/q_t = f(t)$ asılılıqlarının qrafikindən k_1 və k_2 qiymətlərini təyin etmək olur. Mis (II) ionlarının sorbsiyasının kinetik parametrlərinin təyini üçün müxtəlif sorbsiya müddətlərində alınmış təcrübi nəticələrdən istifadə olunmuşdur. Alınmış nəticələr 6-cı cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 6. Mis(II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının kinetik parametrləri.

Sorbent	Kinetik model	Sobr.t utumu q_e, qq^{-1}	$k_1, d\text{əq}^{-1}$	$k_2, Lq^{-1} d\text{əq}^{-1}$	R ²
MT-AP-St-Na	I tərtib	0,682	0,01866	-	0,9597
	II tərtib	0,833	-	0,0127	0,9829
MT-AP-St-NH ₄	I tərtib	0,966	0,02166	-	0,9786
	II tərtib	0,807	-	0,0175	0,9953
MT-HP-St-Na	I tərtib	0,131	0,0456	-	0,9298
	II tərtib	0,224	-	0,342	0,9984
MT-HP-St-NH ₄	I tərtib	0,171	0,038	-	0,9375
	II tərtib	0,261	-	0,435	0,9994
MT-DS-St-	I tərtib	0,116	0,0652	-	0,9848

Na	II tərtib	0,191	-	0,923	0,9996
MT-DS-St-NH ₄	I tərtib	0,109	0,0454	-	0,9848
	II tərtib	0,202	-	0,769	0,9998
MT-AP-St-TEA-NH ₄	I tərtib	0,277	0,047	-	0,9835
	II tərtib	0,328	-	0,15	0,9895
MT-AP-St-QL-NH ₄	I tərtib	0,235	0,038	-	0,9747
	II tərtib	0,331	-	0,147	0,9924

Cədvəldən görünür ki, bütün sorbentlər üçün psevdokinci tərtib modelinin korrelyasiya əmsalı R^2 , psevdobirinci tərtib modelində olduğundan yüksəkdir. Bu, sintez olunmuş sorbentlərlə mis (II) ionlarının sorbsiyası psevdokinci tərtib kinetik modelə daha yaxşı ifadə olunur. Cədvəldən həmçinin görünür ki, psevdokinci tərtib modelinin tənliyinin qrafikinə görə hesablanmış sorbsiya tutumunun qiymətləri daha yüksəkdir. Bundan başqa qrafiklərdən hesablanan sorbsiya tutumunun qiymətləri eksperimental sorbsiya tutumunun qiymətlərinə uyğundur.

3.4. Mis(II) ionlarının alınmış sorbentlərlə sulu məhluldan sorbsiyasının termodinamikası

Metal ionlarının funksional qrupla sorbentlərlə sorbsiyasının termodinamikasına təsir edən əsas amillərdən biri temperaturdur. Temperaturun dəyişməsi sorbsiyanın mexanizmini müəyyən etməyə imkan verən ΔG° , ΔH° və ΔS° kimi termodinamik parametrlərin dəyişməsinə səbəb olur. Temperaturun ağır metal ionlarının sorbsiya prosesinə təsirini əks etdirən təcrübi nəticələr bu parametrlərin aşağıdakı formullar üzrə təyin olunması üçün istifadə olunur.

$$\Delta G^\circ = -2.3 RT \log K_d$$

$$K_d \equiv q_e / C_e$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

burada: ΔG° – standart sərbəst enerji dəyişməsi ($\kappa\text{C mol}^{-1}$), R – universal qaz sabiti, ΔS° – entropiya dəyişməsi ($\kappa\text{C mol}^{-1}$), T – Kelvin şkalasında temperatur, K_d – T temperaturda tarazlıq sabitidir.

$\Delta G^\circ - T$ asılılığının koordinatlarında qrafiki düz xətt verir, bu isə ΔH° və ΔS° -in qiymətlərini təyin etməyə imkan verir. ΔG° , ΔH° və ΔS° parametrləri sorbsiya prosesi haqqında qiymətli informasiyalar verir. ΔG° -nin mənfi olması prosesin spontan (özbaşına) getməsinə sübut edir. Mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının

termodinamik parametrlərini təyin etmək üçün müxtəlif temperaturalarda təcrübi olaraq tarazlıq qatılıqları (C_e) və sorbsiya tutumları (q_e) təyin olunmuşdur. C_e və q_e -nin qiymətlərinə görə K_d və ΔG° hesablanmış və $\Delta G^\circ - T$ asılılığından ΔH° və ΔS° təyin olunmuşdur. Nəticələr 7-ci cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl 7. Sintez olunmuş sorbentlərlə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının termodinamik parametrləri.

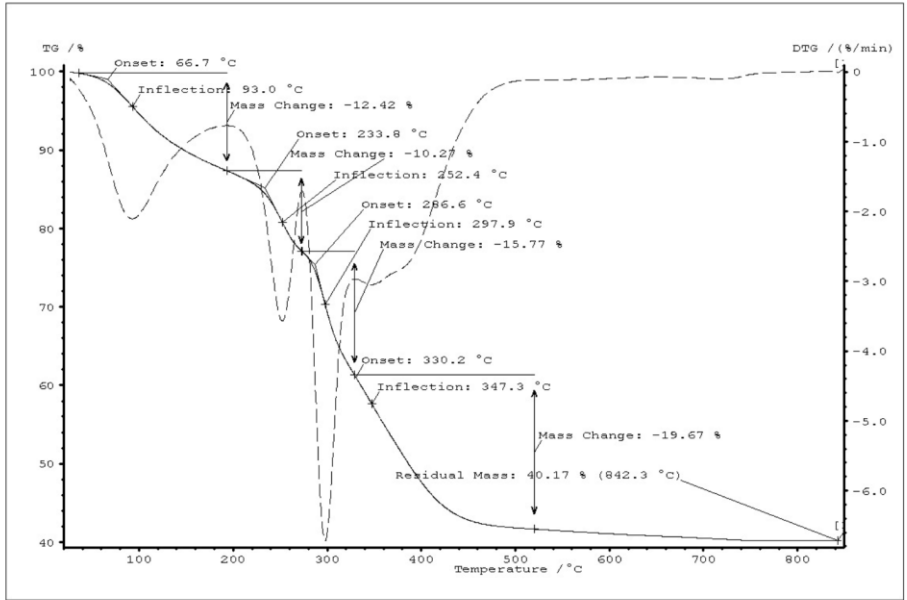
Sorbent	ΔG° $\kappa C \text{ mol}^{-1}$	ΔH° , κC mol^{-1}	ΔS° , κC mol^{-1}	R^2
MT-AP-St- Na	(-1,55)-(-3,37)	17,46	0,061	0,9994
MT-AP-St-NH ₄	(-0,713)-(-0,028)	-10,7	-0,0342	0,9684
MT-HP-St- Na	(-4,505)-(-1,8)	37,8	0,136	0,9999
MT-HP-St-NH ₄	(-2,059)-(-0,341)	-27,2	-0,0859	0,9979
MT-DS-St- Na	(-5,14)-(-1,38)	53,38	0,188	0,9864
MT-DS-St-NH ₄	(-1,8)-(-0,717)	-17,66	-0,054	0,9942
MT-AP-St-TEA-NH ₄	(-1,423)-(-0,852)	7,517	0,02855	0,9994
MT-AP-St-QL-NH ₄	(-1,830)-(-0,955)	11,86	0,04375	0,9999

7-ci cədvəldə verilən məlumatlar əsasında sorbsiya prosesinin xarakteri haqqında bəzi mülahizələr söyləmək olar. Göründüyü kimi sərbəst Gipps enerjisinin bütün sorbentlər üçün mənfidir. Bu, sorbsiya prosesinin spontan (özbaşına) getdiyini göstərir. Müxtəlif sorbentlər üçün ΔH° və ΔS° -in qiymətlərinə gəlincə, burada aşağıdakı fərqli xüsusiyyətləri görmək olar: cədvəldən görünür ki, xətti natrium və tor quruluşlu ammonium duzlarında ΔH° -ın işarəsi müsbətdir və deməli, proses endotermik xarakterlidir. Xətti ammonium duzlarında isə ΔH° -ın işarəsi mənfidir, yəni sorbsiya ekzotermik prosesdir. Sorbsiyanın müxtəlif polimer duzlar üçün belə xarakteri, görünür, natrium və ammonium duzlarının fərqli dissosiasiya dərəcələri ilə əlaqədardır. Cədvəldə verilənlərdən həmçinin görünür ki, müxtəlif sorbentlər üçün ΔH° -ın mütləq qiymətləri müxtəlifdir. Yuxarıda deyildiyi kimi, ağır metal ionlarının sorbsiyasına kimyəvi sorbsiya, kompleks əmələgəlmə, səthdə adsorbsiya, ion mübadiləsi, xelatəmələgəlmə, fiziki qüvvələr hesabına adsorbsiya və s. mexanizmlərinin daxil

olduğu kompleks proses kimi baxmaq olar. Aydınadır ki, sorbsiya prosesinin yekun istilik effekti (entalpiya dəyişməsi) prosesdə mümkün olan bütün proseslərin istilik effektlərinin cəmi kimi olacaqdır. Buna görə mis (II) ionlarının öyrənilən polimer-sorbentlərlə sorbsiya yalnız fiziki yaxud kimyəvi proses kimi deyil, mürəkkəb fiziki-kimyəvi proses kimi qəbul edilə bilər. Adətən, bərk halda olan sorbentlər üçün ΔS° -in qiyməti sorbat ionların sorbent səthində nizamlı yerləşməsi ilə əlaqədar olaraq mənfidir. Bizim halda, xətti ammonium duzlarında ΔS° mənfidir, bu isə mis (II) ionlarının sorbent səthində nizamlı yerləşməsi ilə əlaqədar ola bilər.

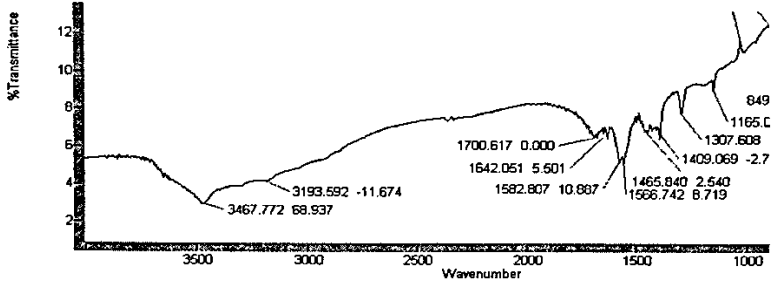
4.Sorbentlərin sorbsiyadan əvvəl və sonra termiki və spektroskopik tədqiqi. Sorbsiyadan sonra mis (II) ionlarının sorbentdə varlığını təsdiq etmək və malein turşusunun üçlü polimerlərinin natrium və ammonium duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının ehtimal olunan mexanizmi haqqında məlumat əldə etmək məqsədilə sorbentlərin sorbsiyadan əvvəl və sonra termoqravimetrik və spektroskopik tədqiqi aparılmışdır. Nümunə kimi burada xətti və tor quruluşlu malein turşusu-allilpropionat-stirol üçlü birgə polimerin ammonium duzları ilə aparılmış tədqiqatların nəticələri şərh olunur. MT-AP-St-NH₄ sorbenti üçün sorbsiyadan sonra çəkilmiş TQ- və DTQ- əyrilərinə görə müəyyən edilmişdir(şəkil 1).

66.7-93 °C intervalında nümunənin kütlə itgisi 12.42 % təşkil edir. Görünür, bu, sorbent-mis (II) kompleksində olan suyun buxarlanması ilə əlaqədardır. Nümunənin intensiv destruksiyası 233.8 °C-də başlayaraq 525°C-dək davam edir, həm də destruksiya pilləli xarakter daşıyır. 842°C -də kütlə itgisi təxminən 60% təşkil edir. Bu zaman qalıq-sorbent tərəfindən sorbsiya olunan misin miqdarı 40%-dir. Bu nəticə sorbentin sulu məhluldan mis (II) ionlarını effektiv şəkildə sorbsiya etdiyini sübut edir.



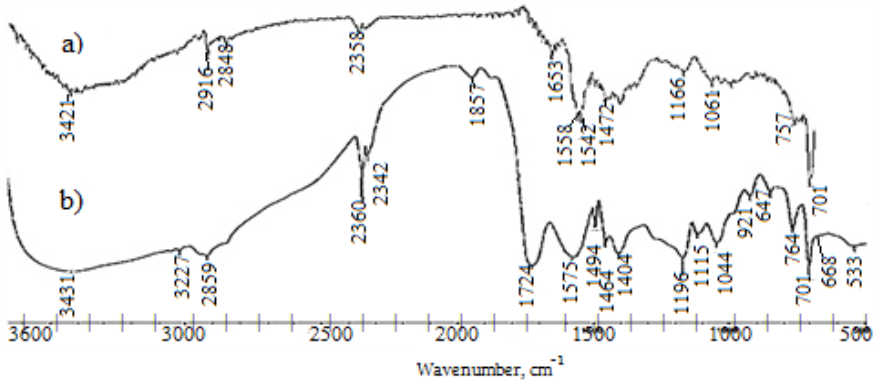
Şəkil 1. MT-AP-St-NH₄ sorbenti üçün sorbsiyadan sonra çəkilmiş TQ- və DTQ- ayrılırları

Sorbentlərin sorbsiyadan əvvəl və sonra İQ- və UB-spektroskopik tədqiqi metal ionlarının sulu məhluldan sorbsiya mexanizminin müəyyən edilmə imkanlarından biridir. Ona görə də xətti və tor quruluşlu malein turşusu-allipropionat-stirol üçlü birgə polimerin ammonium duzunun sorbsiyadan əvvəl və sonra Furye-İQ və UB-spektrləri çəkilmişdir.



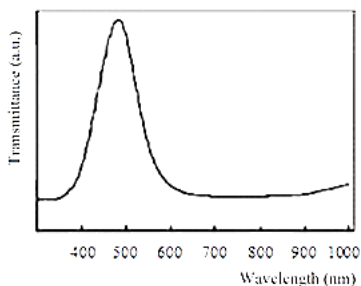
Şəkil.2. MT-AP-St-NH₄-ün sorbsiyadan sonra Furye-İQ-spektri
2-ci şəkildə 1642, 1583, 1566 cm⁻¹ və 1409, 1307 cm⁻¹ udulma zolaqları uyğun olaraq karboksilat ionunun (COO⁻) asimmetrik və

simmetrik rəqslərinə aiddir. 1642 cm^{-1} udulma zolağı sorbentdə olan mürəkkəb efir qrupunu xarakterizə edir. 3468 cm^{-1} zolağı əlaqəli su molekulunda olan hidrosil qruplarının valent rəqsi hərəkətlərinə aid edilə bilər.

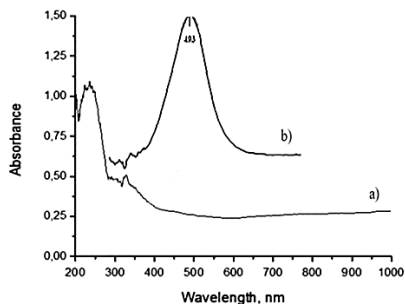


Şəkil.3. MT-AP-St-QL-NH₄-ün sorbsiyadan əvvəl (a) və sonra (b) Furiye-İQ-spektrləri

3-cü şəkildə MT-AP-St-QL-NH₄-ün sorbsiyadan əvvəl və sonra Furiye-İQ spektrləri verilmişdir. Bu spektrləri müqayisə etdikdə görmək olar ki, istifadə olunmamış sorbentdə olan COO⁻ qrupuna uyğun 1542 və 1558 cm^{-1} udulma zolaqları (şəkil 3a) sorbsiyadan sonra itir və yeni 1404 və 1576 cm^{-1} zolaqları yaranır (şəkil 3b). Bu zolaqlar mis ionlarının sorbentlə əmələ gətirdiyi kompleksdə karboksilat qruplarının asimmetrik rəqsləri üçün xarakterdir. Spektrin 3431 cm^{-1} sahəsində olan geniş zolaq qliserinin və reaksiyaya daxil olmamış karboksil qruplarındakı -OH qruplarına aid edilə bilər. 701 və 764 cm^{-1} zolaqlarını isə stiroil tərkib vahidlərindəki monoəvəz olunmuş benzol həlqələrinə aid etmək olar. Öyrənilən sorbentlərlə mis (II) ionlarının kompleks əmələ gətirmə imkanını müəyyən etmək üçün MT-AP-St-NH₄ və MT-AP-St-QL-NH₄ sorbentlərinin sorbsiyadan əvvəl (a) və sonra (b) SPECORD 210 PLUS markalı spektrofotometrə UB-spektrləri çəkilmişdir.



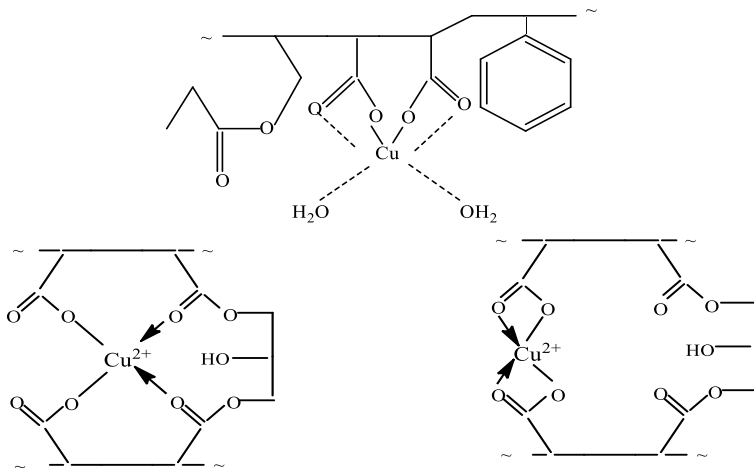
(1)



(2)

Şəkil.4. MT-AP-St-NH₄-ün (1) sorbsiyadan sonra və MT-AP-St-QL-NH₄-ün (2) sobrsiyadan əvvəl (a) və sonra (b) UB-spektrləri.

MT-AP-St-NH₄-ün spektrindəki 490 nm (şəkil 4(1), MT-AP-St-QL-NH₄-ün spektrindəki 493 nm (şəkil 4 (2)(b)) maksimumları MT-AP-St-Cu kompleksinin və MT-AP-St-QL-Cu kompleksin əmələ gəlməsi haqqında söylənilən fikirləri təsdiq edir.



Quruluşları ehtimal olunan kompleksdən başqa mis (II) ionlarının polimer-sorbentlərlə digər kompleksləşmə variantları istisna deyil.

Nəticələr

1. Malein turşusu-allilpropionat-stirol, malein turşusu-hepten-1-stirol, malein turşusu-nonen-1-stirol, malein turşusu-desen-1-stirol üçlü birgə polimelərin natrium və ammonium, həmçinin trietanolamin və qliserinlə tikilmiş malein turşusu-allilpropionat-stirol üçlü birgə polimerin ammonium duzu sintez olunaraq xarakterizə olunmuşdur.

2. Sintez olunmuş natrium və ammonium duzları mis (II) ionlarının sulu məhluldan çıxarılması üçün sorbent kimi istifadə olunmuşlar. Metal ionlarının sorbsiya dərəcəsinə və sorbentlərin sorbsiya tutumuna sorbsiya müddətinin, sorbentin miqdarının, temperaturun, pH-ın və mis (II) ionlarının qatılığının təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, eyni şəraitdə ammonium duzları natrium duzlarına nisbətən daha yüksək sorbsiya qabiliyyəti göstərilir; bu, ammonium duzlarının sərbəst karboksilat ionlarının əmələ gəlməsilə dissosiasiya dərəcələrinin nisbətən yüksək olması ilə izah olunur.

3. Alınmış təcrübi nəticələr Ləngimür, Freyndlix, Dubinin-Raduşkeviç və Temkin izoterm modellərinin tənlikləri koordinatlarında işlənmişdir. Bu tənliklərin parametrləri, Ləngimür tənliyinin qrafikindən maksimum sorbsiya tutumları, Dubinin-Raduşkeviç tənliyinin qrafikindən sorbsiya mərkəzlərinin tam doyması halına uyğun sorbsiya tutumları təyin edilmişdir. Dubinin-Raduşkeviç tənliyinin qrafikindən sorbsiya enerjisinin $7.634-8.17 \text{ kC mol}^{-1}$ olduğu müəyyən olunmuşdur ki, bu da sorbsiyanın kimyəvi təbiətli olduğunu göstərir.

4. Mis (II) ionlarının alınmış sorbentlərlə sorbsiyasının kinetik parametrləri təyin edilmişdir. Müxtəlif sorbsiya müddətlərində alınmış təcrübi nəticələr Lagerqren psevdobirinci və psevdokinci tərtib reaksiyalarının tənliklərinin koordinatlarında işlənmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bütün sorbentlər üçün nəticələr yüksək korrelyasiya əmsali ilə psevdokinci tərtib reaksiya tənliyinin koordinatlarında daha yaxşı ifadə olunurlar. Sorbsiyanın sürət sabitləri və sorbentlərin sorbsiya tutumları uyğun qrafiklərdən hesablanmışdır.

5. Sorbsiyanın termodinamik parametrləri (ΔG° , ΔH° və ΔS°) qiymətləri təyin edilmiş və müəyyən olunmuşdur ki, bütün sorbentlər üçün ΔG° -in işarəsi mənfidir; bu, sorbsiya prosesinin spontan (özbaşına) baş verdiyini göstərir. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, ammonium duzları ilə sorbsiya ekzotermik, natrium duzları ilə endotermik xarakterlidir.

6. Xətti quruluşlu və trietanolaminlə tikilmiş tor quruluşlu malein turşusu-stirol-allilpropionat üçlü birgə polimerin ammonium duzlarının sorbsiyadan sonra TQ-DTA-əyriləri, Furye İQ- və UB-spektrləri çəkilmişdir. 20-850°C intervalında çəkilmiş TQ əyriləri

göstərir ki, 842°C-də misin sorbentdəki miqdarı 40.17 %-dir, Furiye İQ-və UB spektrlərdə isə mis (II) ionlarının sorbentlərin sorbsiya mərkəzləri ilə kompleks əmələ gətirməsini sübut edir.

7. Təcrübi nəticələrin adsorbsiya izoterm modellərində işlənmiş nəticələri, kinetik, termodinamik və Furiye-İQ, UB-spektroskopik tədqiqatlardan alınan məlumatları alaraq belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, malein turşusunun üçlü birgə polimerlərinin duzları ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının ehtimal olunan mexanizmi mis (II) ionlarının sorbentlərin sorbsiya mərkəzləri ilə kompleksəmələgəlmə ilə müşayiət olunan kimyəvi qarşılıqlı təsiri ilə əlaqədardır.

Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı elmi əsərlərdə dərc olunmuşdur:

1. Cəfərova,E.Ə., Abbaszadə,P.S., Qafarova,S.R. Malein turşusu-desen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzunun alınması // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” IX Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2015, -s.30-31.
2. Cəfərova,E.Ə., Cabbarova,Ş.A., Qafarova,S.R. Malein turşusu-nonen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzunun alınması // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” IX Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2015, -s.63-64.
3. Şirinova,E.Ə., Əkbərov,O.H.,Qafarova,S.R. Сорбция ионов меди натриевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-аллилпропионат-стирол // Monomerlər və polimerlər kimyasının müasir problemləri III Respublika konfransının materialları, -Sumqayıt, -2015, -s.67-68.
4. Şirinova,E.Ə., Əkbərov,O.H.,Cabbarova,Ş.A. Malein turşusu-nonen-1-stirol üçlü birgə birgə polimerin natrium duzu ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyası // BDU“Analitik kimya” kafedrasının 80-illik yubileyinə həsr edilmiş “Koordinasion birləşmələr kimyası” VI Respublika elmi konfransının materialları, -2015, -s.115-116.

5. Şirinova, E.Ə., Abbaszadə, P.S., Əkbərov, O.H. Malein turşusu-desen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzu ilə mis(II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyası // Analitik kimya kafedrasının 80 illik yubileyinə həsr olunmuş VI Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2015, -s.141-142.
6. Jafarova, E.A. Removal of copper ions from water solution by sodium salt of the maleic acid-allylpropionate-styrene terpolymer / E.O.Akperov, O.H.Akperov, S.R.Gafarova // Water Science and Technology, -2016, -v.74, iss.6, -p.1484-1491.
7. Şirinova, E.Ə., Abbaszadə, P.S., Qafarova S.R. Malein turşusu-desen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzu ilə mis(II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının izotermələri // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.116-117.
8. Şirinova, E.Ə., Abbaszadə, P.S., Əkbərov, O.H. Mis (II) ionlarının malein turşusu-desen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzu ilə sulu məhluldan sorbsiyasının termodinamik və kinetik parametrlərinin təyini // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.114-115.
9. Şirinova, E.Ə., Stanbullu, F.D., Əkbərov, O.H., Əkbərov, E.O., Qafarova, S.R. Qliserinlə tikilmiş malein anhidridi-stirol-allilpropionat birgə polimerinin ammonium duzunun alınması // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.130.
10. Şirinova, E.Ə., Kamranzadə, F.M., Əkbərov, O.H., Əkbərov, E.O., Qafarova, S.R. Trietanolaminlə tikilmiş malein anhidridi stirol-allilpropionat birgə polimerinin ammonium duzunun alınması // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.133.
11. Şirinova, E.Ə., Cabbarova Ş.A., Əkbərov, O.H., Əkbərov E.O. Malein turşusu-nonen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzu ilə

- mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının termodinamik və kinetik parametrlərinin təyini // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.146.
12. Şirinova, E.Ə., Cabbarova, Ş.A., Əkbərov, O.H., Əkbərov E.O. Malein turşusu-nonen-1-stirol birgə polimerinin natrium duzu ilə mis (II) ionlarının sulu məhluldan sorbsiyasının izotermləri // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” X Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2016, -s.147.
 13. Ширинова, Э.А., Акперов, О.Г., Акперов, Э.О., Кафарова, С.Р. Извлечение Cu^{2+} из водных растворов аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-аллилпропионат-стирол // Ümummilli Lider H.Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş “Kimyanın aktual problemləri” XI Respublika Elmi Konfransının materialları, -Bakı, -2017, -s.77
 14. Ширинова, Э.А. Извлечение ионов меди (II) из водных растворов натриевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-гептен-1-стирол / Э.О.Акперов, О.Г. Акперов, С.Р. Кафарова, С.Б. Гасанзаде // Bakı Universtetinin Xəbərləri, -2017, №1, -с.28-33.
 15. Ширинова, Э.А. Извлечение Cu^{2+} из водных растворов аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-аллилпропионат-стирол/ Э.О.Акперов, О.Г.Акперов, С.Р.Кафарова // Sumqayıt Dövlət Universiteti “Elmi Xəbərlər” Təbiət və texniki elmlər bölməsi, -Sumqayıt, -2017, № 3,-s.43.
 16. Ширинова, Э.А. Извлечение ионов меди (II) из водных растворов аммониевой солью тройного сополимера малеиновая кислота-стирол-децен-1/ Э.О.Акперов, О.Г. Акперов, С.Р.Кафарова // Kimya Problemləri, -Bakı, -2017, № 3,-с.291-299.
 17. Shirinova, E.A. Ammonium salt of the cross-linked maleic acid-allylpropionate-styrene terpolymer as effective sorbent for removal of Cu ions from water solutions (sorption of the copper

- ions) / O.H.Akperov, A.M.Maharramov, E.O.Akperov // Journal of Dispersion Science and Technology, -2017 , issue 9, -p.1244-1251.
18. Shirinova, E.A. Removal of the copper ions from water solution by ammonium salt of the maleic acid-styrene-heptene-1-terpolymer/ E.O.Akperov, O.H.Akperov, S.R.Kafarova // New Materials, Compounds and Applications, -2017,-Vol.1, No.1, - p.115-126.
 19. Shirinova, E.A. Adsorption of the Cu²⁺ ions from water solution by Ammonium salt of the Maleic acid-Allylpropionate-Styrene Terpolymer, crosslinked with Glycerin / E.O.Akperov, O.H.Akperov // New Materials, Compounds and Applications,-Baku, -2018,-Vol.2, No.3, -p.274-287.
 20. Shirinova, E.A. Sodium salt of the maleic acid-decene-1-sterene termopolymer as a sorbent for removal of copper ions from water solution/ E.O.Akperov, O.H.Akperov // Journal of Water Chemistry and Technology, -2019,-Vol.41, No.5, -p.276-282.
 21. Ширинова, Э.А. Изучение условий сорбции ионов меди солями тройного сополимера малеиновой кислоты со стиролом и гептеном-1 // -Гянджа: НАНА, Гянджинское отделение "Сборник известий", -2019. №3, -с.34-41.
 22. Şirinova, E. Ə. Изучение условий сорбции ионов меди солями тройного сополимера малеиновой кислоты со стиролом и аллилпропионатом// Химия, физика, биология, математика: теор. и прикладные исследования: сб. ст. по материалам XXXIII междунар. науч.-практ. Конференция, -Москва, -2020, -с.66-70.
 23. Şirinova, E. Ə. Изучение условий сорбции ионов меди солями тройного сополимера малеиновой кислоты со стиролом и деценом-1 // Elmi Xəbərlər, -Sumqayıt, -2020, -s.44-49.
 24. Şirinova, E. Ə. Обработка экспериментальных данных синтезированными полимер сорбентами в координатах уравнения модели Ленгмюра// Международная научно-практическая конференция, -Варшава, -2020, -с.10-11

Dissertasiyanın müdafiəsi 16 mart 2022-ci il tarixində saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Polimer Materialları İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.28 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan : AZ 5004,Azərbaycan Respublikası, Sumqayıt ş., S.Vurğun prospekti, 124.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Polimer Materialları İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Polimer Materialları İnstitutunun rəsmi internet saytında (www.amea-pmi.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 08 fevral 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 30.01.2022
Kağızın formatı: 60x90 1/16
Həcm: 36 919
Tiraj: 30