

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**BAKİ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ**

---

*əlyazması hüququnda*

**FƏXRƏDDİN TEYMUR OĞLU MAHMUDOV**

**QEYRİ-ÜZVİ VƏ ÜZVİ MƏNŞƏLİ KOMPONENTLƏRİN**  
**MƏHLULLARDAN ÇIXARILMA VƏ QATILAŞDIRILMASININ**  
**SORBSİYA ÜSULLARININ KOMPLEKS TƏDQIQI**

*2307.01 – Fiziki kimya*

*Kimya elmləri doktoru aliimlik dərəcəsi almaq üçün*  
*təqdim olunmuş dissertasiya işinin*

**A V T O R E F E R A T I**

**BAKİ – 2014**

İş Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası akad. M.F.Nağıyev adına Kimya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: Kimya elmləri doktoru, professor **S.M. Rüstəmov**

Rəsmi opponentlər: Kimya elmləri doktoru, professor **E.İ.Əhmədov**  
Kimya elmləri doktoru, professor **V.L.Bağiyev**  
Kimya elmləri doktoru, professor **A.N.Məmmədov**

Aparıcı təşkilat: **N.Tusi adına Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin**  
**«Analitik və fiziki kimya» kafedrası**

Müdafiə «\_\_14\_\_» \_\_04\_\_ 2014-cü il tarixdə saat \_\_\_da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdindəki D 02.011 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az. 1148, Bakı şəhəri, Z.Xəlilov küç., 23

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq olar

Avtoreferat «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014-cü ildə göndərilmişdir

Dissertasiya Şurasının eli katibi

kimya elmləri doktoru, professor

M.Ə.Allahverdiyev

**İŞİN ÜMUMİ X İLƏMƏLƏRİ**

**Problemin aktuallığı.** Metallurgiya, cihazqayırma, kimya, qalvanik elektronika və elektrotexnika kimi vacib sənaye sahələrinin sürətli inkişafı ilə əlaqədar olaraq respublikada bir çox keçid metallarına tələbat artır. Yer kürəsində bir sıra əlvan metalların (Ag, Ni, Co, Cu, Zn, Cd və Hg) təbii ehtiyatları tədriclə tükənir. Müxtəlif sənaye proseslərinin maye tullantılarında belə komponentlərin itkisi yolverilməzdir. Lakin onların təbii sututuralarda icazə verilən qatılıq həddindən yuxarıda olması-həddli icazə verilən qatılıq (HİQ) - qiymətli komponentlər kimi həm onların itkisinə təsir göstərir, digər tərəfdən nəinki insan həyatı üçün, hətta sututurların flora və faunası üçün də təhlükəlidir.

Koaqulyasiya, elektroliz, əks-osmos və s. bu kimi müxtəlif fiziki-kimyəvi üsullar bu qiymətli komponentlərin sənaye tullantılarından mikroqatılıqlara qədər aşağı düşmə həddinə ancaq köməkçi rolunu oynaya bilər. Bu elementlərin mikroqatılıqlardan ion formasında çıxarılması və qatılaşdırılması əsasən ion-mübadilə materialları vasitəsilə həyata keçirilir ki, belə maddələrdən olan sintetik seolitlər, həmçinin sintetik materiallar böyük dövlət vəsaiti hesabına başa gəlir. Bahalıq ucubundan həmin proseslər üçün bu cür materiallar geniş praktik əhəmiyyət kəsb eləyə bilmir. Ekoloji problemlərin kəskinləşdiyi bir vaxtda sənaye cəhətcə təbii seolitlərin mənimsənilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Təbii seolitlərin, xüsusilə onların modifikasiya olunmuş formalarının istifadə olunması bu qiymətli metalların ion formalarında «ikinci» komponent kimi qaytarılmasında ciddi vacib məsələlərdən sayılır. Sintetik seolitlərlə müqayisədə müstəsna ion-mübadilə xüsusiyyətlərinə malik, ucuz başa gələn və praktiki cəhətcə hədsiz ehtiyatları olan belə maddələr xalq təsərrüfatında tətbiq olunmaq üçün daha böyük imkanlar yaradır.

Fenola kimya, neft kimyası, meşə kimyası, əczaçılıq, metallurgiya və s. sənaye sahələrinin tullantı sularınla rast gəlinir. Bəzi hallarda Bakı buxtasında fenolun qatılığı icazə verilən qatılıq həddindən 100 dəfə artıq olur. Sulfonol, toxuculuq sənayesində liflərin hazırlanması və emalı, həmçinin kommunal və ev təsərrüfatlarında məişət əşyalarının çirkədən təmizlənməsi zamanı tullantıların tərkibinə keçir. O, həmçinin, yuyucu vasitə, dağ-mədən sənayesində köpük əmələgətirici, detergent kimi istifadə olunur. Belə zəhərli üzvi molekulların təbii su-

tutarlara daxil olması onların flora və faunası üçün böyük təhlükə törədir. Yuxarıda göstərilənlərlə əlaqədar olaraq aşağıdakı məsələlərin həyata keçirilməsi və hazırlanması böyük maraq doğurur:

1. Daha münasib və ucuz başa gələn respublikanın təbii seolitləri bazası əsasında effektiv sorbsiya materiallarının hazırlanması, onlardan sənaye və məişət maye tullantılarından yuxarıda göstərilən qeyri-üzvi və üzvi mənşəli komponentlərin qiymətli ion və molekul şəklində ayrılmasını və qatılaştırılmasını təmin etmək;

2. Alınmış effektiv sorbentlərin tətbiqi ilə sənaye və məişət maye tullantılarının təbii sututarlara buraxılmamışdan qabaq qeyri-üzvi və üzvi komponentlərin zəhərli ion və molekullarından tam şəkildə təmizlənməsinə nail olmaq mümkündür.

**İşin məqsədi.** Hazırkı işin məqsədi təbii klinoptilolit və mordenit seolitləri bazası əsasında sorbentlərin qeyri-üzvi (H, Na, K, Ca və s.) və üzvi mənşəli (metilaminxlorid, silisium üzvi birləşmələr və s.) ionlarla səthin modifikasiya olunması, bunlardan  $Ag^+$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  və  $Hg^{2+}$  ionlarının model məhlullardan, konkret sənaye tullantılarından, eyni-zamanda toksiki fenol və sulfonoldan belə qeyri-üzvi və yzvi komponentlərin təbii sututarlara buraxılmamışdan qabaq onların sorbsion təmizlənməsi və qatılaştırılmasına əsaslanır.

Bizim tədqiqatlar alınmış eksperimental nəticələrin bu məqsədlər üçün geniş istifadə olunan analogi sənaye sorbentlərindən KU-2-8, KAD-yodlu, AB-17-OH və s. ilə müqayisəli şəkildə aparmaqla yerinə yetirilmişdir.

Bu məqsədlə tədricən aşağıdakı məsələlər həyata keçirilmişdir:

Təbii klinoptilolit və mordenitin HCl, NaCl, turş metilaminxlorid vasitəsilə  $H^+$  və  $Na^+$  ion formalarının alınması və müəyyən mənada onların hidrofoblaşmasını təmin etmək. Bir sıra təbii və sintetik seolitlərin bazası əsasında o mənada müxtəlif dərəcədə alüminiumsuzlaşmış sorbentlər hazırlanmışdır ki, (təbii klinoptilolit və mordenit, sintetik mordenit, NaX, NaU və müqayisə üçün AB-17-OH, KAD-yodlu kimi sənaye müqayisəli sorbentlər götürülmüşdür) sənaye mənşəli maye tullantılardan toksiki alkilbenzolsulfonat ionlarının təmizlənməsini həyata keçirmək mümkün olsun.

İlkin sınaqlardan sonra gələcək tədqiqatlar üçün aşağıdakı sorbentlər seçilmişdir:

a) Yuxarıda sadalanan keçid və ağır metalların sadə və kompleks ionlarının model məhlullar və real maye tullantılarından mükəmməl tədqiq olunması üçün  $\text{Na}^+$  və  $\text{H}^+$ -formalı təbii klinoptilolit və mordenitin seçilməsi;

b) Civə ionlarının məhlullardan və konkret maye tullantılarından sorbsiya xüsusiyyətlərinin tədqiqi üçün metilaminxlorid turşusu ilə modifikasiya olunmuş klinoptilolit və mordenit seolitlərinin hazırlanması;

c) Konkret sənaye maye tullantılarının toksiki ionlar olan alkilbenzolsulfonatdan təmizlənməsi üçün KAD-yodlu və AB-17-OH kimi sənaye mənşəli sorbentlərlə müqayisədə dərin alüminiumsuzlaşmış NaX, NaU sorbentlərinin hazırlanması;

ç) Neft kimyası və dəri zavodunun konkret maye tullantılarından fenol və onun törəmələrinin təmizlənməsi üçün sənaye sorbentləri olan KAD-yodlu və AB-17-OH-dan istifadə olunması.

Seçilmiş sorbentlər həmçinin qiymətli qeyri-üzvi və üzvi tərkiblərin sənaye maye tullantılarından çıxarılması və qatılaştırılması, eyni zamanda, onların təkrar istifadə olunması üçün tətbiq olunmuşdur.

Seçilmiş modifikasiya olunmuş sorbentlərdə müqayisəli-sistematik şəkildə yuxarıda göstərilən ionların qatılıq, mühitin temperaturu və sorbentlərin dənəvərliyinin geniş intervalında sorbsiyasının kinetikasi, statikasının (tarazlıq) qanunauyğunluqları öyrənilmişdir.

Tədqiq olunan ionların seçilmiş sorbentlərdə real maye tullantılarına uyğun qatılıqlarda filtrasiyanın müxtəlif sürətlərində, sorbentlərin müxtəlif dənəvərliklərində ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  ionlarının, sulfonol və fenolun) dinamika və reqenerasiyanın qanunauyğunluqları tədqiq olunmuşdur.

$\text{Ni}^{2+}$  -  $\text{Co}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  -  $\text{Cd}^{2+}$  ion cütlərinin xromatoqrafik ayrılma prosesi öyrənilmiş və müvafiq sorbentdə (Na – klinoptilolit) maye tullantılarından bu komponentlərin çıxarılması və qatılaştırılması həyata keçirilmişdir.

**Elmi yeniliklər.** Kompleks-sistematik şəkildə bir sıra keçid elementləri və ağır metal ionlarının ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) sadə və kompleks ion

şəklində bu ionların qatılıqlarının onların maye sənaye tullantılarındakı qatılıqlarına yaxın qatılıqda təbii klinoptilolit və mordenitin modifikasiya olunmuş  $H^+$ ,  $Na^+$ , metilaminxlorid ( $CH_3NH_3^+ \cdot Cl^-$ )-li formalarında sorbsiya prosesinin kinetika, statika (tarazlaq) və dinamikasının qanunauyğunluqları öyrənilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, sadə ionlara qarşı Na-forma klinoptilolit yüksək sorbsion fəallıq və selektivlik göstərmiş, yuxarıda göstərilən keçid və ağır metal ionların komplekslərinə isə H-forma klinoptilolit daha fəal olmuşdur, metilaminxloridlə modifikasiya olunmuş klinoptilolit isə model məhlullarından cəvə ionlarına qarşı daha effektiv olmuşdur. Müəyyənlanmışdır ki, dərin alüminiumsuzlaşmış NaX (86,42%) və NaU (63,62%) alkilbenzolsulonata qarşı sorbsion tutumunda ( $52,6-54,9 \text{ mq} \cdot \text{q}^{-1}$ ) sənaye miqyaslı sorbentlərlə müqayisədə KAD-yodlu və AB-17-OH-dan ( $54,5-63,1 \text{ mq} \cdot \text{q}^{-1}$ ) heç də geri qalmır.

$Ni^{2+}$ - $Co^{2+}$  və  $Zn^{2+}$ - $Cd^{2+}$  ion cütlərinin modifikasiya olunmuş Na-klinoptilolitdə effektiv xromatoqrafik ayrılma prosesi hazırlanmış və real maye tullantılardan bu ion cütlərinin sorbsion ayrılması və qatılaştırılması həyata keçirilmişdir.

Keçid və ağır metal ionlarının məhlullardan və sənaye maye tullantılarından sorbsion ayrılma və qatılaştırılmasının optimallaşdırılması üçün nəzəri və eksperimental baza hazırlanmışdır.

**İşin praktiki əhəmiyyəti.** Göstərilən ionların konkret maye tullantılarında qatılıqlarına uyğun qatılıqda model məhlullardan sorbsiya qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi, vacib kinetik, tarazlıq və dinamik parametrlərin eksperimental nəticələr əsasında hesablanması tədqiq olunan sorbsiya proseslərinin gələcəkdə kinetik və riyazi modellərinin hazırlanmasına şərait yaradır.

Yuxarıda göstərilən keçid və ağır metalların sadə və kompleks ionlarının maye tullantılardan Na-klinoptilolitdə təcrübi surətdə 12-15 dəfə qatılaştırılması imkan verir ki, bu sorbent bahalı və çətin əldə olunan KU-1, KU-2-8, GDG-10P, KAD-yodlu və s. bu kimi sintetik ion-mübadilə materiallarını bu ionların məhlullardanq və maye tullantılardan təmizlənməsində əvəz edə bilsin.

$Ag^+$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$  tərkibli maye tullantıların təbii sututarlara buraxılmamışdan qabaq belə zəhərli komponentlərin sorbsion təmizlənməsində alınan

nəticələr bu sututurları çirklənmədən qoruyar, onların flora və faunasını məhv olmaqdan xilas edər.

Fenolun Qırmızıpalıd korpuslu Bakı dəri zavodu ( $C_0=190-245 \text{ mq}\cdot\text{l}^{-1}$ ) və Yeni Bakı Neftayırma zavodunun (YBNZ)termiki krekinq qurğusunun tullantı sularından 8-9 dəfə qatılaşdırılması göstərmişdir ki, belə zəhərli üzvi maddənin sintetik sorbsiya materialları olan KAD-yodlu və AB-17-OH sorbentlərində bu prosesin həyata keçirilməsi daha məqsədəuyğundur.

**İşin təsdiq edilməsi.** Dissertasiya işinin əsas hissəsi aşağıdakı konfrans, seminar, simpozium və qurultaylarda məruzə və stend şəklində nümayiş etdirilmişdir: Xromatoqrafiyaya həsr olunmuş VII Zaqafqaziya konfransı (Tbilisi, dekabr, 1986-cı il); Qeyri-üzvi sorbentlərin kimya və texnologiyasına aid X Ümumittifaq seminarı (Düşənbə, noyabr-dekabr, 1986-cı il); Akad. M.F. Nağıyevin 80 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc kimyaçı alimlərin III Resp. konfransı (Bakı, oktyabr, 1988-ci il); Ümumi tətbiqi kimyaya aid XIV Mendeleev qurultayı (Moskva, 1989-cu il), «İon-mübadilə materiallarının sənayedə və analitik kimyada tətbiqi»nə dair VII Ümumittifaq konfransı (Voronej, sentyabr, 1991-ci il); Tullantıların təmizlənməsinə aid IV Respublika elmi konfransı (Gəncə, may, 1993-cü il); Ümumi və tətbiqi kimyaya aid XV Mendeleev qurultayı (Minsk, may, 1993-cü il); Ekologiya problemlərinə aid I Beynəlxalq konfrans (Bakı, sentyabr, 1994-cü il); Təbii seolitlərə həsr olunmuş «Natural zeolites-97» Beynəlxalq simpozium (Qurcaani, sentyabr, 1997-ci il); «Seolitlərin adsorbsiya xüsusiyyətləri, modifikasiya və sintezi»nə həsr olunmuş II seminar (Sankt-Peterburq, oktyabr, 1998-ci il); Kimya, biologiya elmlərinin və təhsilin problemləri»nə aid Resp. elmi konfransı (Bakı, ADPU-80, noyabr, 2001-ci il); «Su, problemlər, axtarışlar» tematikasına dair Resp. elmi-praktik konfransı (Bakı, oktyabr, 2001-ci il); Fiziki-kimyaya aid I konfrans (Bornovo-İzmir, iyun, 2002-ci il); AMEA-nın müxbir üzvü X.S. Məmmədovun 75 illiyinə həsr olunmuş Resp. konfransı (Bakı, dekabr, 2002-ci il); Akad. M.F. Nağıyevin 95 illiyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, sentyabr, 2003-cü il); AMEA-nın müxbir üzvü Z.H. Zülfüqarovun 90 illiyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, dekabr, 2003-cü il); Azərb.EA müxbir üzvü H.X.Əfəndiyevin 100 illiyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, iyul, 2007-ci il); Akad. M.F. Nağıyevin 100 illiyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, may, 2008-ci il); Akad. H.Əliyevin 105 illik yubileyinə həsr olunmuş II Beynəlxalq konfrans (Bakı, 2012-ci il); Akad. M.F.Nağıyevin 105 illiyinə həsr olunmuş elmi konfrans (Bakı, 2013-cü il).

**Nəşrlər.** Dissertasiyanın əsas materialı 48 nəşr olunmuş elmi məqalədə əks olunmuşdur. İşdə tədqiqat nəticələri ümumiləşdirilmiş, şəxsən həm müəllif tərəfindən, həm də Azərb. SSR EA Kimya Texnologiyasının Nəzəri Problemləri və Qeyri-üzvi və Fiziki-kimya İnstitutlarının (hazırda AMEA akad. M.F. Nağıyev adına Kimya Problemləri İnstitutu adlanır) əməkdaşları ilə birgə həyata keçirilmişdir. İşin hazırlanmasında, eksperimentlərin həyata keçirilməsində, alınan nəticələrin interpretasiyasında başlıca rol müəllifə məxsusdur. 1986-cı ildə müdafiə olunmuş namizədlik dissertasiyasından bəzi nəticələr işə daxil edilmişdir.

**İşin həcmi və quruluşu.** Dissertasiya işi girişdən, beş fəsildən, nəticələrdən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın məzmunu 58 şəkil, 33 cədvəl və 304 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı daxil olmaqla 257 səhifədən ibarətdir.

## İŞİN MƏZMUNU

**Giriş hissəsində** dissertasiya temasının aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi, vəzifələri, elmi yenilikləri, praktiki əhəmiyyəti müəyyənləşdirilmiş və eksperimental nəticələrin tətbiq olunma məsələləri həyata keçirilmişdir.

**Birinci fəsildə** zəhərli maddələr olan qeyri-üzvi və üzvi komponentlərin sənaye mənşəli maye tullantılarından çıxarılması, təmizlənməsi və qatılaşdırılmasının sorbsiya üsullarına aid ədəbiyyat materialları verilmişdir. Sulu mühitdə üzvi ionitlərin şişməsindən fərqli olaraq cod, üçölçülü, fəzavi karkasa malik seolitlər spesifik xüsusiyyətlər daşıyır. Bu baxımdan müxtəlif təbii seolitlərin ağır və keçid metallarının kationlarına qarşı göstərdiyi seçicilik müəyyən mənada onların praktik əhəmiyyətini yüksəldir.

Qeyri-üzvi və üzvi birləşmələrin sənaye tullantı sularının təmizlənməsində bir çox üsullar mövcuddur: mexaniki (süzgəcdən keçirilmə, durultma, flotasiya və s.), kimyəvi (neytrallaşdırma, oksidləşdirici-reduksiyaetmə, ozonlaşdırma və s.), fiziki-kimyəvi (ekstraksiya, buğlanma yolu ilə buxarlanma, adsorbsiya, ion-mübadilə və s., biokimyəvi.

Sənaye tullantı sularına daxil olan çirklənmənin miqdarı və xüsusiyyətlərindən asılı olaraq yuxarıda göstərilən axınların təmizlənmə dərinliyi və effektivliyini artırmaq məqsədilə müxtəlif kombinasiyalar da tətbiq oluna bilər.



Məlumdur ki, quruluşun pozulmasına səbəb olan üsullar çirklənmənin tam dağılmasına gətirib çıxarır, bərpaedici üsullar isə elə məqsədə xidmət göstərir ki, tullantılardan ayrılan qarışıqlar sonradan xammal və yarımfabrikatlar kimi istifadə oluna bilsin.

Bioloji üsullar üzvi birləşmələrin qatılığını praktiki olaraq 80%-ə qədər aşağı sala bilər. Tam oksidləşməmiş, çətin oksidləşmə xüsusiyyətlərinə malik olan maddələr biofiltrlərdən tranzit maddə kimi keçərək sututarları çirkləndirir.

Adsorbsiya üsulları isə effektiv bərpaedici üsullar olamqla axınlardan qiymətli komponentlərin həm çıxarılması, həm də onlardan istifadə olunmasında işlədilir, bəzən əksər hallarda dərin təmizlənmədən-ekstraksiya, buğlanma yolu ilə buxarlanma, biokimyəvi və s. təmizlənmə üsullarından sonra tətbiq olunur.

Başqa üsullarla müqayisədə mahiyyətcə adsorbsiya üsulları onunla fərqlənir ki, bu zaman proses dönər olur, adsorbsiya olunmuş maddə yenidən məhlula qayıda bilər ki, bu da sorbentin regenerasiyasına əsaslanır, yaxud sorbentin sorbsiya xüsusiyyətləri yenidən bərpa olunur. Bundan başqa bu üsullar vasitəsilə axınların təmizlənməsi zamanı mürəkkəb aparat sisteminə, reagentlərin çoxlu istifadəsinə və s. ehtiyac qalmır.

Müxtəlif bərk sorbentlərdən (fəallaşdırılmış kömürlər, ionitlər, fəallaşdırılmış aüminium-oksit, sintetik seolitlər və s.) istifadə olunmaqla sorbsiya üsulları keçid metalların ionlarının çıxarılması, ayrılması və qatılaştırılmasında, maye-sənaye tullantılarından gümüş, nikel, kobalt, kadmium, civə kimi ionların təmizlənməsində istifadə olunur. Lakin aşağı effektivliyə, baha başa gəlməsinə, çoxlu məsrəflər səbəbindən, bəzi sorbentlərin geniş praktiki əhəmiyyətə malik olmaması üzündən yuxarıda göstərilən bir çox belə üsullar geniş tətbiq imkanları tapa bilmir. Sorbsiya üsulları ilə gümüş, nikel, kobalt, kadmium və civə ionlarının ucuz və rahat əldə oluna bilən təbii seolitlər və onların müxtəlif modifikasiya olunmuş formalarından istifadə etməklə çıxarılması və qatılaştırılması böyük praktiki maraq doğurur. Barrerin «ion-ələk» effekti imkan verir ki, belə komponentləri həm ayrılıqda, həm də cəm olunmuş şəkildə tullantılardan təmizləmək mümkün olsun.

Alümosilikatların (təbii və sintetik seolitlər) səthlərini aminlər, müxtəlif qa-

tıqlı mineral turşular, silisium-üzvi birləşmələrlə modifikasiya etməklə onlara hidrofob xüsusiyyət vermək olur və onlardan müxtəlif sinif karbohidrogenləri sulu məhlullardan, o cümlədən aromatik əsaslı fenol və onun törəmələri və sulfonoldan adsorbsiyasını həyata keçirmək mümkündür.

Keçid və ağır metalların ionlarına, həmçinin aromatik birləşmələrə qarşı müxtəlif adsorbentlərin ion-mübadilə və adsorbsiya qanunauyğunluqları qarşıya məqsəd qoyur ki, tam şəkildə sistemə olaraq bu komponentlərin kinetik, tarazlıq, dinamik, regenerativ xüsusiyyətləri öyrənilsin, Sulu məhlullar və tullantılardan qeyri-üzvi və üzvi komponentlərin çıxarılması üçün optimal sorbentlərin müəyyənəlməsi sorbsiya etaplarının ardıcılığından asılıdır. Sonradan ion-mübadilə və adsorbsiya xüsusiyyətlərinə görə seçilmiş sorbentlərdə tədqiq olunan ion və üzvi molekulların qatılaşdırılma dərəcələri daha asan başa gəlir.

**İkinci fəsildə** qeyri-üzvi və üzvi mənşəli zəhərli komponentlərin bərk sorbentlərdə sorbsiyanın kinetik qanunauyğunluqları verilmişdir. Sorbentin quruluşu ilə sorbsiyanın sürəti arasında əlaqə sorbsiya prosesinin davam etməsi şərti ilə sorbsiyanın kinetikasının predmetini təşkil edir. Başqa sözlə sorbsiyanın kinetikası onun müxtəlif amillərdən asılı olaraq sorbsiya prosesinin sürəti haqqında təlimdir. Sorbsiyanın kinetikasının qanunauyğunluqlarının əhəmiyyəti imkan verir ki, həm keyfiyyətə, həm də kəmiyyətə və məqsədəuyğun şəkildə sorbentin dənəvərliyi, sorbsiya olunan ion və ya molekulun qatılığı, mühitin temperaturu səmərəli şəkildə seçilə bilsin.

Adsorbsiya kinetikası nəzəriyyəsinin əsas məsələsi  $f(t)$  funksiyasının növünün açılması və onun təcrübənin parametrləri ilə əlaqəsinin qurulmasından ibarətdir.

İon-mübadilə prosesinin kinetikasının öyrənilməsi ilk növbədə məqsəd kimi prosesin limit mərhələsinin təyin olunması məsələsini qarşıya qoyur. Limit mərhələsinin təyini nəinki ion-mübadilə mexanizmini aydınlaşdırmağa xidmət göstərir, eyni zamanda bir sıra praktiki vacib məsələlərin həllində də başlıca rol oynayır. Əgər istilik effektinin təyini əhəmiyyətlidirsə onda prosesin kinetikası üçün termodiffuziya hadisəsinin mahiyyəti daha önəmlidir.

Seolitlərdə diffuziya prosesinin aktivləşmə enerjisi bir çox dəyişən parametrlərin funksiyası hesab olunur: molekulun ölçüsü ilə «seolit pəncərəsi» ölçüsü arasında nisbət, kationların polyarlaşma xüsusiyyətləri, polyarlıq və molekulun polyarizasiyası, həmçinin bir sıra digər amillər. Molekul və ya ionun hər keçidi aktivləşmə enerjisinin itkisini tələb edir, diffuziya fəallaşma xüsusiyyəti daşıyır, analogiyaya görə D aşağıdakı tənliklə xarakterizə olunur:

$$D = D_0 \cdot ke^{\frac{-E_a}{R \cdot T}} ; \quad (1)$$

burada,  $D_0$ -sabitdir, qarşıeksponensial vuruq hesab olunur ( $\text{sm}^2 \cdot \text{san}^{-1}$ ),  $D$ -diffuziya əmsalı ( $\text{sm}^2 \cdot \text{san}^{-1}$ ),  $E_a$ -aktivləşmə enerjisi (kC/mol, kC/q-ion);  $T$ -mühitin temperaturu ( $^{\circ}\text{K}$ );  $R^*$ -universal qaz sabiti [8,3144 C/(mol·K)].

Reaksiyanın sürət sabiti ( $R$ ) xaricidiffuzion mexanizmlə xarakterizə olunur və Q.Boyd tənliyindən hesablanır:

$$R = \frac{dS}{dt} ; \quad (2)$$

$K_d = S_{\text{taraz}}/C_{\text{taraz}}$  – tarazlıq paylanma əmsalı: burada,  $S_{\text{taraz}}$  – tarazlıq halında sorb-siya miqdarı ( $\text{mq} \cdot \text{ekv} \cdot \text{q}^{-1}$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{q}^{-1}$ );  $C_{\text{taraz}}$  – tarazlıq qatılığı ( $\text{mq} \cdot \text{ekv} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{ml}^{-1}$ ),  $K_d$ - ( $\text{ml} \cdot \text{q}^{-1}$ ).

$t$ -nin kiçik kəmiyyətləri üçün daha sadə tənlik xarakterizə olunur:

$$F = \frac{S_t}{S_{\infty}} = \frac{6}{r} \sqrt{\frac{D_{\text{daxili}} \cdot t}{\pi}} ; \quad (3)$$

burada,  $S_t$  –  $t$  zamanına uyğun gələn sorbsiya miqdarı,;  $S_{\infty}$ -doyma halına uyğun gələn miqdar;  $q$ -sorbentin dənəvərlik radiusu, sm;  $D_{\text{daxili}}$ -daxili diffuziya əmsalı,  $\text{sm}^2 \cdot \text{san}^{-1}$ ;  $\pi \approx 3,14$ -sabit ədəd.

Eksperimental işlərdə müxtəlif sorbsiya materiallarından (ion-mübadilə materialları, fəallaşdırılmış kömürlər, sintetik və təbii seolitlər) istifadə olunmuşdur ki, bu barədə də II fəsildə məlumat verilmişdir.

**Kinetik təcrübələrin metodikası.** Ağır və keçid elementlərinin ionlarının ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) və onların bəzilərinin ammoniyaklı komplekslərinin məhlullardan bərk sorbentlər üzərində mübadilə kinetikasi «məhdud

həcmli» üsulla M:B=100:1 (M-maye fazası, B-bərk faza) tədqiq olunmuşdur. Təcrübələr məhlulların müxtəlif qatılıqlarında, sorbentlərin üç dənəvərliyində, mühitin üç temperaturunda aparılmışdır. H və Na – formalı klinoptilolit və mordenitlə yanaşı eyni zamanda KU-2-8 sintetik kationiti də götürülmüşdür. İçərilərində sorbent nümunələri olan kolbalar yuxarıda göstərilən ionların məhlulları ilə doldurulmuş, sonradan sorbsiya tarazlığını təyin etmək məqsədilə silkələyici aparata qoyularaq qarışdırılmışdır. Müəyyən ara müddətləri ilə kolbalar növbə ilə aparatdan götürülmüş və suspenziyaların çökməsinə qədər saxlanılmışdır. Sonradan məlum metodika üzrə alikvot nümunələrdə ionların qatılıqları təyin olunmuşdur.

Sorbsiya olunmuş ionun miqdarı aşağıdakı formula üzrə hesablanmışdır:

$$S = \frac{VC_0}{g} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) ; \quad (4)$$

burada, S-t müddətində sorbsiya olunmuş miqdar, mq-ekv·q<sup>-1</sup>; C<sub>0</sub>-ion məhlulunun başlanğıc qatılığı, mq-ekv·ml<sup>-1</sup>; C-müəyyən ara vaxtlarına uyğun gələn məhlullardan ionların qatılığı, mq-ekv·ml<sup>-1</sup>; V-məhlulun həcmi, ml; g-sorbentin çəkisi, q.

**İonların miqdarının təyini.** Fotoqrafiya sənayesinin tullantı sularından və durulaşdırılmış məhlullardan Ag<sup>+</sup> ionlarının təyini üçün n - dimetilaminobenziliden rodamin indikatorundan istifadə etməklə kolorimetrik metod hazırlanmışdır; nikel ionlarının məhlullardan və müxtəlif sənaye tullantılarından təyini zamanı onun qələvi mühitdəki məhluluna dimetilqlioksim və ya digər başqa oksidləşdirici, məsələn doymuş bromlu su məhlulu əlavə etməklə həm Ni<sup>2+</sup>, həm də [Ni(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> şəklində kolorimetrik metod vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Co<sup>2+</sup> və [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> ionlarının təyini zamanı indikator kimi nitrozo-R duzundan, Zn<sup>2+</sup> və [Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> ionları kolorimetrik metodla rodamin C, yaxud rodamin B indikatorları vasitəsilə istifadə olunmuşdur. Məhlullarda Cu<sup>2+</sup> və [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> ionlarının təyini TXAB (R) reagenti və rodamin C indikatoru vasitəsilə yerinə yetirilmişdir. Mikroqram qatılıqlarında Hg<sup>2+</sup> ionlarının miqdarı üçün nəzarət metodu ekstraksiyon-fotometrik üsulla pinaverdol indikatorunun rəngli birləşmə əmələ gətirməsinə əsaslanmışdır.

Zn<sup>2+</sup>, [Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, [Ni(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, [Cd(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> ionlarının təmiz məhlullarda təyinat metodu erixrom qara T indikatoru vasitəsilə

kompleksonometrik titrlənmə vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Gümüş və cıvə ionlarının sulu məhlullardan təyini zamanı titrometrik metod olan Folqard metodundan da istifadə olunmuşdur.

**Sorbentlərin tədqiqata hazırlanması.** Sorbent qismində təbii seolit nümunəsi olan Ay-dağ klinoptiloliti və Naxçıvan Muxtar Respublikasının Çananab yataqlarından götürülmüş mordenit seoliti və onların  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  modifikasiya olunmuş formaları istifadə olunmuşdur.

Ay-dağ yataqlarından götürülmüş klinoptilolit tufu orta hesabla 80-85% klinoptiloliddən ibarət olub faizlə aşağıdakı tərkibə malikdir:  $\text{SiO}_2$ -65,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -12,2;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -1,01;  $\text{CaO}$ -4,05;  $\text{MgO}$ -0,57;  $\text{Na}_2\text{O}$ -2,55;  $\text{K}_2\text{O}$ -1,18;  $\text{H}_2\text{O}^+$ -6,20;  $\text{H}_2\text{O}^-$ -5,25. Çananab mənşəli mordenit tufu orta hesabla 75-80% mordeniddən ibarət olub faizlə aşağıdakı tərkibə malikdir:  $\text{SiO}_2$  (68,52-71,51);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,44-14,54);  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,52-1,09);  $\text{CaO}$  (1,67-2,72);  $\text{SrO}$  (0,15-0,17);  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,69-2,29);  $\text{K}_2\text{O}$  (1,05-3,30);  $\text{H}_2\text{O}$  (10,45-11,50).

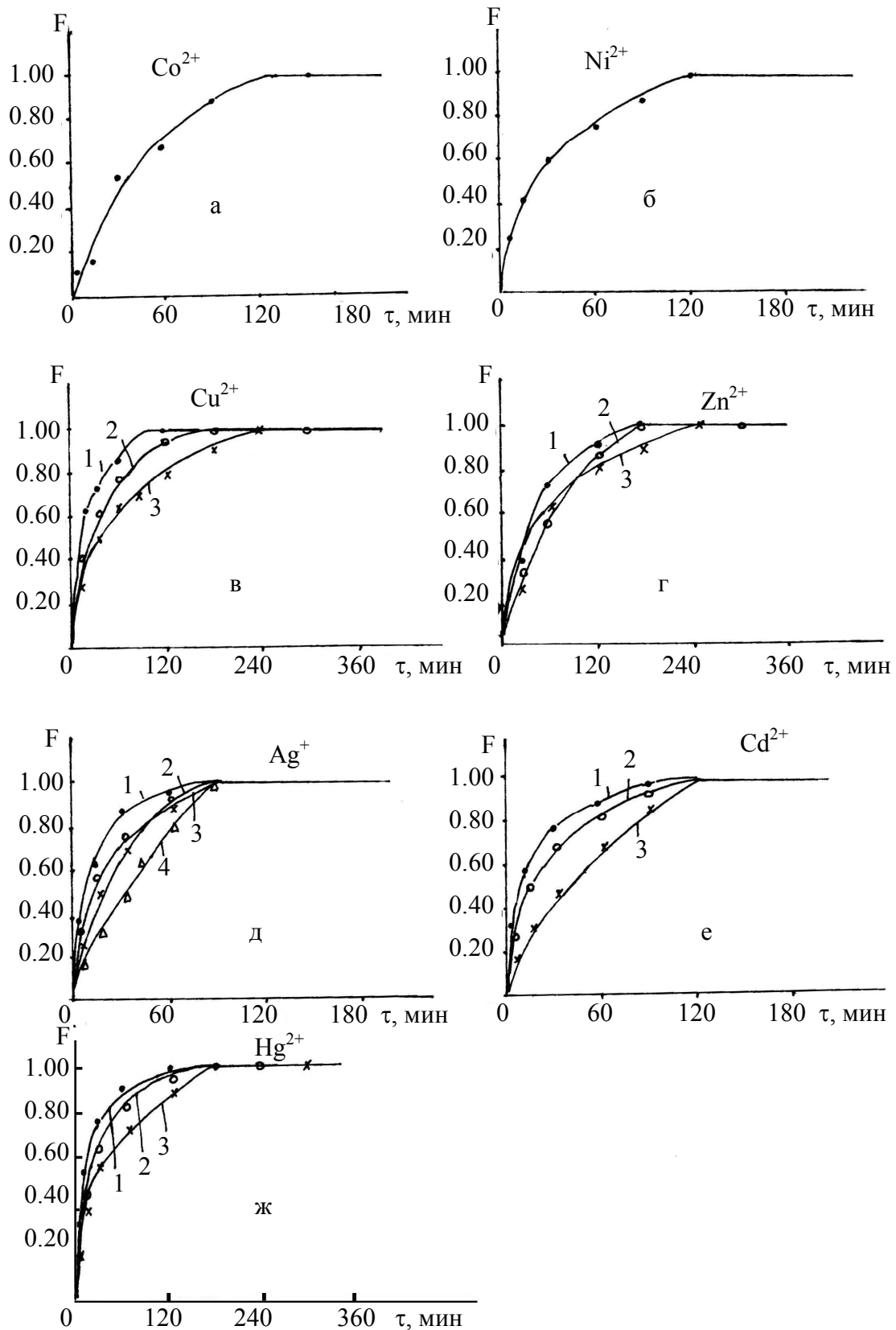
Təbii seolit nümunələri ilk əvvəl dəmir həvəngdə xırdalanmış və ələk analizi üsulu ilə aşağıdakı orta ölçülərdə olan üç fraksiyaya ayrılmışdır: 0,021 sm; 0,041 sm; 0,066 sm.

Seolitlərin vacib kation formaları dinamik şəraitdə 0,1n NaCl və HCl məhlulları vasitəsilə otaq temperaturunda (22<sup>0</sup>C) hazırlanmışdır. Seolit nümunələri havada qurudulmuş tam quru hala gətirilmiş və tədqiqatlar üçün ağzı bağlı şüşə bankalarda saxlanılmışdır.

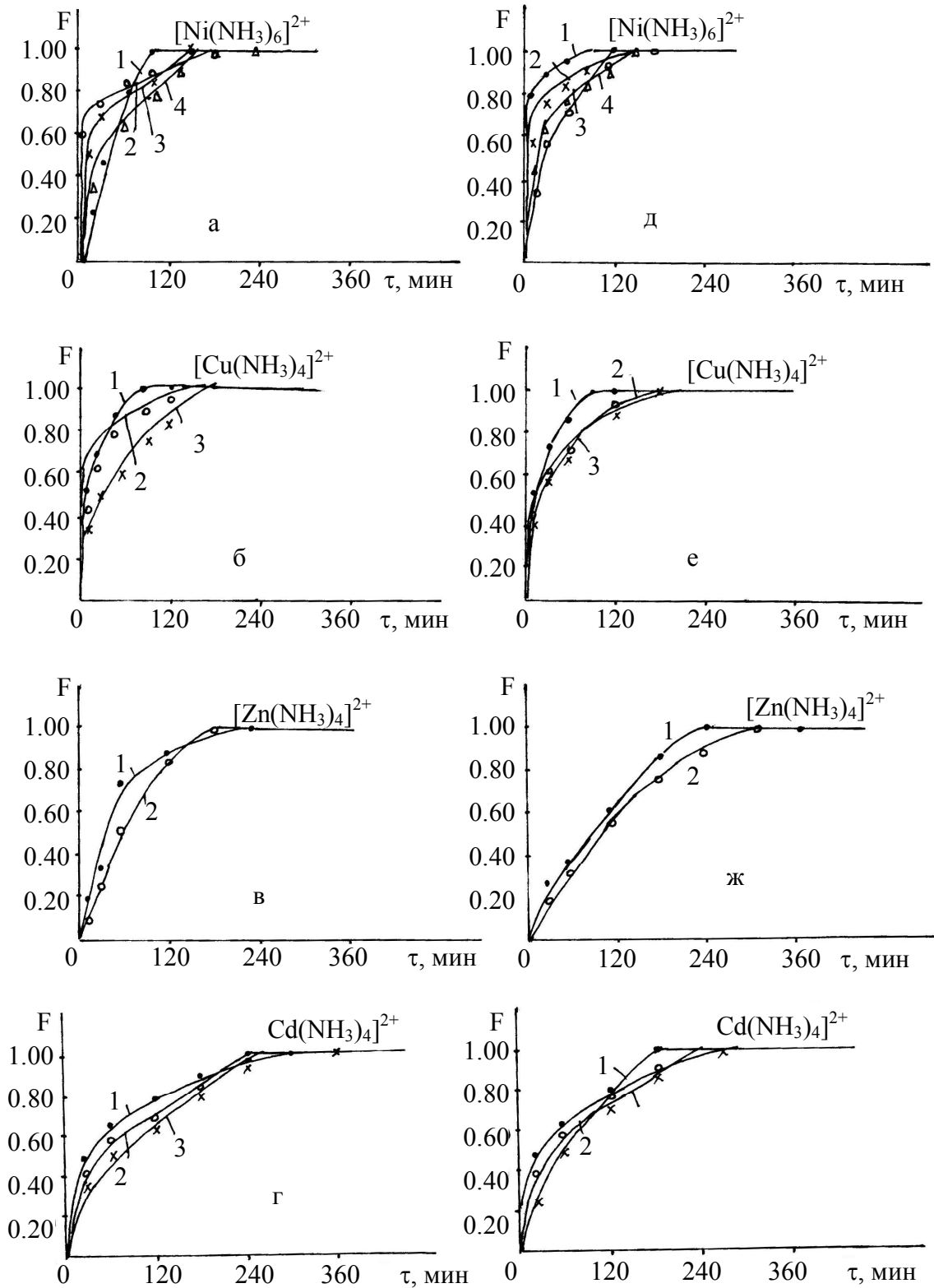
Ağır və keçid elementləri ionlarının məhlullardan eksperimental təcrübələri əsasən modifikasiya olunmuş təbii klinoptilolit və mordenit seolitləri üzərində aparılmışdır. İon-mübadilə proseslərinin seolitlərdə sürətinin öyrənilməsində əsas diqqət rəqəmli nəticələrin alınmasına yox, ümumi qanunauyğunluqlarının alınmasına yönəldilmişdir.

Şəkil 1-də  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  və  $\text{Hg}^{2+}$  ionlarının başlanğıc məhlulun qatılığından asılı olaraq ion-mübadilənin kinetik əyriləri verilmişdir. Bütün təcrübələrdə müvafiq metalların xloridli məhlullarından, lakin  $\text{Ag}^+$  və  $\text{Hg}^{2+}$  ionları üçün onların nitratlı məhlullarından istifadə olunmuşdur.

Şəkil 2-də  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  kompleks ionlarının Na-klinoptilolit və Na-mordeniddə kinetik əyriləri təqdim olunmuşdur.



**Şəkl.1** Keçid elementi kationlarının mübadiləsinin müxtəlif qatılıqlarda Na-klinoptilidə kinetik əyriləri a)  $-2Na^{+} - So^{2+} - 1 \cdot 10^{-4} n$ ; b)  $-2Na^{+} - Ni^{2+} - 1 \cdot 10^{-4} n$ ; v)  $-2Na^{+} - Cu^{2+}$ : 1  $- 5 \cdot 10^{-3} n$ , 2  $- 1 \cdot 10^{-3} n$ , 3  $- 1 \cdot 10^{-4} n$ ; q)  $-2Na^{+} - Zn^{2+}$ : 1  $- 5 \cdot 10^{-3} n$ , 2  $- 1 \cdot 10^{-3} n$ , 3  $- 1 \cdot 10^{-4} n$ ; d)  $-Na^{+} - Ag^{+}$ : 1  $- 1 \cdot 10^{-2} n$ , 2  $- 5 \cdot 10^{-3} n$ , 3  $- 1 \cdot 10^{-3} n$ ; 4  $- 1 \cdot 10^{-4} n$ ; e)  $-2Na^{+} - Cd^{2+}$ : 1  $- 5 \cdot 10^{-3} n$ , 2  $- 1 \cdot 10^{-3} n$ , 3  $- 1 \cdot 10^{-4} n$ ; j)  $-2Na^{+} - Hg^{2+}$ : 1  $- 1 \cdot 10^{-3} n$ , 2  $- 5 \cdot 10^{-4} n$ , 3  $- 1 \cdot 10^{-4} n$ .



**Şəк. 2.** Ammonyak-kompleks ionların mübadiləsinin Na-klioptilolit və Na-mordenitdə məhlulun müxtəlif qatılıqlarında çəkilmiş kinetik əyriləri

a – d –  $2\text{Na}^+ - [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ : 1 –  $7 \cdot 10^{-3}$  n, 2 –  $5 \cdot 10^{-3}$  n, 3 –  $3 \cdot 10^{-3}$  n, 4 –  $1 \cdot 10^{-4}$  n;

b – e –  $2\text{Na}^+ - [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ : 1 –  $5 \cdot 10^{-3}$  n, 2 –  $1 \cdot 10^{-3}$  n, 3 –  $3 \cdot 10^{-4}$  n;

v – j –  $2\text{Na}^+ - [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ : 1 –  $1 \cdot 10^{-3}$  n, 2 –  $1 \cdot 10^{-4}$  n;

q – z –  $2\text{Na}^+ - [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ : 1 –  $5 \cdot 10^{-3}$  n, 2 –  $1 \cdot 10^{-3}$  n, 3 –  $3 \cdot 10^{-4}$  n;

Xarici diffuzion mexanizminə uyğun gələn  $dS/d\tau$  udulma sürəti ( $S-\tau$ ) koordinatındakı qrafiklərin koordinat başlanğıcından ayrılan qrafiki əyrilərə çəkilən toxunanların absiss oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın tongensi əsasında müəyyənləşdirilmişdir. Elə buna görə də biz  $S_t/S_\infty-\tau$  ( $S_t/S_\infty=F$ ) qrafiklərinə əsaslanmışıq ki, bu da  $S-\tau$  qrafiki əsasında qurulur. Buradan sürətli xaricidiffuzion mexanizmi hesabına yaranan tutum hissəsini asanlıqla hesablamaq mümkündür.

Alınan nəticələrin analizi göstərir ki, verilən şərtlər daxilində bütün ion cütlərinin mübadilə sürəti daxilidiffuzion, qarışıq və xaricidiffuzion mexanizmlərlə müşayiət olunur.

Məhlulun qatılığı artdıqca xarici diffuziya hesabına ion-mübadilə sürəti və tutumun miqdarı artır. Qarşı ionun ölçüsü nə qədər böyükdürsə ion-mübadilə sürətini nəzarətdə saxlayan mexanizmlər arasındakı keçid sərhəddi daha qatı məhlullar istiqamətinə yönəlir (cədvəl 1.) Belə halda daxili diffuzion prosesin sürət sabiti qatılıqdan asılı olmur.

Mühitin temperaturunun artması ilə bütün hallarda tarazlığın əmələ gəlməsi vaxtı azalır. Xarici diffuzion prosesin sürət sabitinin artması temperaturun artması ilə daxilidiffuzion prosesin sabiti ilə müqayisədə daha yüksəkdir.

Bu onu göstərir ki, temperaturun dəyişməsi ilə öyrənilən intervalda proses əsasən daxilidiffuzion mexanizm hesabına reallaşır.

Effektiv diffuziya əmsalı və daxilidiffuzion prosesin sürət sabitinin loqarifmasının temperaturun tərs qiymətindən asılılığı düzxətli xarakter daşıyır.

Sadə və ammonyaklı komplekslər üçün Na-klioptilolit və Na-mordenitdə sorbent hissəciklərinin ölçülərinin kinetik parametrlərə təsiri öyrənilmişdir. Bərk fazada hissəciyin kiçik ölçüsündə mübadilə sürəti hissəciklərin yüksək kəmiyyətlərdəki qiymətlərinə nisbətən kifayət qədər böyük olur ki, bu da bütün ion-mübadilə reaksiyaları üçün xarakterik olur. Na- ionları ilə modifikasiya olunmuş klioptilolit və mordenit seolitlərinin fraksiyaları böyüdükcə hissəciyin orta radius qiymətinə düz proporsional olaraq ionların tarazlıq vaxtları da yüksəlir. Bu onunla əlaqədardır ki, birinci mərhələdə kationların böyük hissəsi xaricidiffuzion mexanizmi üzrə mübadilə olunur, lakin ikinci mərhələdə bu proses daxilidiffuzion mexanizmi üzrə davam edir.



Cədvəl 1.

$\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  və  $\text{Hg}^{2+}$  ionlarının Na-klinoptilolitdə mübadiləsinin kinetik parametrlərinə xarici məhlulların qatılıqlarının təsiri ( $T=20^{\circ}\text{C}$ , fr. 0,041sm, B/M=100).

İon-mübadilə sistemi	Məhlulu n başl. qatılığı, n	$\tau_{1/2}$ , dəq	$\tau_{\infty}$ , dəq	Xaricidiffuzion sahə				Daxilidiffuzion sahə	
				Xarici dif. hesab. tutum his., %	$dS/d\tau$ , mq-ekv/ /q·san	$K_d = S_{\text{staraz}}/S_{\text{taraz}}$	$R$ , san <sup>-1</sup>	$D$ , sm <sup>2</sup> /san.	$V$ , sek <sup>-1</sup>
Klinoptilolit (Na) + $\text{Ag}^+$	0,01	5	78	35,61	$1,15 \cdot 10^{-3}$	131,83	$8,74 \cdot 10^{-4}$	$8,24 \cdot 10^{-8}$	$4,84 \cdot 10^{-4}$
	0,005	6	94	31,27	$6,86 \cdot 10^{-4}$	228,16	$6,02 \cdot 10^{-4}$		
	0,001	8,5	99	25,19	$2,06 \cdot 10^{-5}$	379,88	$5,44 \cdot 10^{-5}$		
	0,0001	10,5	108	18,17	$1,42 \cdot 10^{-6}$	493,47	$2,83 \cdot 10^{-5}$		
Klinoptilolit (Na) + $\text{Cu}^{2+}$	0,005	10	96	34,44	$6,87 \cdot 10^{-5}$	173,46	$7,93 \cdot 10^{-5}$	$6,72 \cdot 10^{-8}$	$3,95 \cdot 10^{-4}$
	0,001	12	168	29,13	$8,22 \cdot 10^{-6}$	211,29	$3,89 \cdot 10^{-5}$		
	0,0001	14	222	26,52	$2,47 \cdot 10^{-7}$	339,63	$7,28 \cdot 10^{-5}$		
Klinoptilolit (Na) + $\text{Zn}^{2+}$	0,005	18	165	46,23	$4,32 \cdot 10^{-5}$	201,33	$4,29 \cdot 10^{-5}$	$5,44 \cdot 10^{-8}$	$3,20 \cdot 10^{-4}$
	0,001	22	180	39,11	$7,05 \cdot 10^{-6}$	289,27	$2,44 \cdot 10^{-5}$		
	0,0001	30	228	36,09	$6,92 \cdot 10^{-7}$	366,49	$1,89 \cdot 10^{-5}$		
Klinoptilolit (Na) + $\text{Cd}^{2+}$	0,005	18,5	180	53,16	$3,70 \cdot 10^{-5}$	196,65	$3,76 \cdot 10^{-5}$	$3,89 \cdot 10^{-8}$	$2,28 \cdot 10^{-4}$
	0,001	22,5	210	43,56	$5,79 \cdot 10^{-6}$	274,73	$2,11 \cdot 10^{-5}$		
	0,0001	27	243	28,33	$1,31 \cdot 10^{-6}$	380,42	$1,73 \cdot 10^{-5}$		
Klinoptilolit (Na) + $\text{Hg}^{2+}$	0,005	17	180	55,73	$5,18 \cdot 10^{-6}$	60,00	$8,63 \cdot 10^{-5}$	$2,84 \cdot 10^{-8}$	$1,67 \cdot 10^{-4}$
	0,001	21	195	46,82	$2,05 \cdot 10^{-6}$	87,50	$4,67 \cdot 10^{-5}$		
	0,0001	28	240	31,16	$2,77 \cdot 10^{-7}$	150,00	$1,18 \cdot 10^{-5}$		

Bu nəticənin təsdiq olunması ona əsaslanır ki, seolitlərin mikrokristallit ölçülərinin azalması ilə buna müvafiq olaraq onların səthlərinin böyüməsi ilə mübadilə sürəti artır.  $\tau_{\infty}/\tau_{1/2}$  nisbəti aşağıdakı şəkildə dəyişir:  $\tau_{\infty}/\tau_{1/2}(0,021\text{sm}) > \tau_{\infty}/\tau_{1/2}(0,041\text{sm}) > \tau_{\infty}/\tau_{1/2}(0,066\text{sm})$ .

Kifayət qədər kiçildikdə seolitlərin hissəciklərinin formaları sferik formadan daha az fərqlənir, yaxud biz seolitlərlə tədqiqat işini onların monokristalları ilə yox, mikromonokristallardan ibarət aqreqatları ilə aparırıq.

Son nəticədə keçid elementləri və onların ammoniyaklı kompleksləri ionlarının kinetik əyrilərinin analizi zamanı istifadə olunan metodika ədəbiyyat materiallarından alınan nəticələrlə yaxşı uyğunluq təşkil edir.

Alınan nəticələr və aşkar olunan qanunauyğunluqlar tədqiqatın gələcək etaplarının həyata keçirilməsi üçün zəmin yaradır.

Üzvi mənşəli komponentlər olan fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) və aniogen səthi-fəal maddə olan sulfonol [ $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}(n=10-18)$  və 5-40%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  və  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ] yəni, alkilbenzolsulfonatın fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömür və sintetik yüksəkmolekullu anionit olan AB-17-OH-da sorbsiyanın kinetikasına aid eksperimental işlər aparılmışdır ki, belə sorbentlərin də MDB ölkələrində sənaye istehsalı mövcuddur.

Fenol və sulfonolun sulu məhlullarda və tullantı sularında təyini üçün daha həssas fotometrik üsullar seçilmişdir.

Fenolun və sulfonolun məhlullardan bərk maddələr üzərində sorbsiyanın kinetikasi statik şəraitdə «məhdud həcmli» üsulu vasitəsilə həyata keçirilmişdir.

Fəal KAD-yodlu kömür nümunəsi (1,00-3,00 mm fr. və 3,00-5,00 mm fr.) və AB-17-OH anionitindən (orta fr. 0,64 mm) 0,5 q çəkiddə həcmi 250 ml olan termostat ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) kolbalara daxil edib (H:Ç=100:1) nisbətində kolbalardan 50 ml götürülərək başlanğıc qatılıqları müvafiq olaraq 250, 500 və 1000 mq/l olan fenol və sulfonol məhlullarından istifadə olunmaqla sorbsiya prosesi həyata keçirilmişdir.

Məlumdur ki, bir çox bərk maddələrdə, o cümlədən fəal kömür və AB-17-OH anionitində sorbsiya sorbentin karkas məsamələrində maddənin diffuziyası ilə tənzimlənir.

Maddənin diffuziyasının sürəti başlanğıc periodda sorbentin kubik və sferik hissələrində (3)-formulası ilə müəyyən olunur. Bu tənlik göstərir ki, həqiqətən də sorbsiyanın başlanğıc periodunda proses diffuziya ilə idarə olunursa, onda  $S_t/S_\infty \sqrt{t}$  funksiyası xətti xarakter daşmalıdır, hansı ki, bu da dissertasiyada öz əksini tapır.

KAD-yodlu sorbenti və AB-17-OH anionitində fenol və sulfonolun sorbsiyası zamanı daxili diffuziya əmsalı və adsorbsiyanın tarazlıq vaxtlarının qiymətləri cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2

Fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və AB-17-OH anionitində müxtəlif dənəvərliklərdə, qatılıqlarda və mühit temperaturlarında fenol və sulfonolun sorbsiyası zamanı daxili diffuziya əmsalı və adsorbsiya tarazlığı vaxtının kəmiyyətləri

Sistem	Dənəvərlik fraksiyası, mm	Məhlulun qatılığı, mq/l	Mühitin temperaturu, °C	Tarazlığın yaranma vaxtı, dəq	Effektiv dif-fuziya əmsalı, sm/san
KAD-yodlu + fenol	1,00-3,00	250	25	168	$1,18 \cdot 10^{-7}$
			35	148	$2,83 \cdot 10^{-7}$
			50	138	$4,22 \cdot 10^{-7}$
	3,00-5,00	500	25	190	$1,30 \cdot 10^{-7}$
			35	150	$3,13 \cdot 10^{-7}$
			50	135	$5,22 \cdot 10^{-7}$
KAD-yodlu + sulfonol	1,00-3,00	500	25	185	$1,86 \cdot 10^{-7}$
			35	155	$2,17 \cdot 10^{-7}$
			50	135	$2,49 \cdot 10^{-7}$
	3,00-5,00	1000	25	192	$1,96 \cdot 10^{-7}$
			35	148	$2,58 \cdot 10^{-7}$
			50	126	$3,00 \cdot 10^{-7}$
AB-17-OH+ fenol	0,40-0,80	250	25	128	$3,31 \cdot 10^{-8}$
			35	124	$6,26 \cdot 10^{-8}$
			50	120	$9,39 \cdot 10^{-8}$
	0,40-0,80	500	25	117	$4,14 \cdot 10^{-8}$
			35	98	$7,93 \cdot 10^{-8}$
			50	90	$1,21 \cdot 10^{-7}$
AB-17-OH+ sulfonol	0,40-0,80	500	25	135	$7,64 \cdot 10^{-9}$
			35	127	$9,02 \cdot 10^{-9}$
			50	120	$1,12 \cdot 10^{-8}$
	0,40-0,80	1000	25	126	$8,27 \cdot 10^{-9}$
			35	120	$1,00 \cdot 10^{-8}$
			50	114	$1,35 \cdot 10^{-8}$

Sonda belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, fenol və sulfonolla adsorbsiya prosesləri fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü ilə müqayisədə AB-17-OH sorbentində daha zəif sürətlə gedir.

**Yçüncü fəsildə** qeyri-üzvi və üzvi mənşəli zəhərli komponentlərin məhlullardan bərk sorbentlər üzərində sorbsiya proseslərinin tarazlıq məsələlərinə baxılmışdır.

Məhlulda və sorbentdə ionların ekvivalent miqdarda və ya molyar qatılıq vasitəsilə qatılıqlarını ifadə etməklə ion-mübadilə tarazlığının termodinamik sabiti və ion-mübadilə materiallarında ionların fəallıq əmsallarını hesablamaq üçün aşağıda göstərilən bir sıra ifadələr alınmışdır:

$$\frac{1}{Z_A} \ln \gamma_{AS} = - \int_{\ln K'_C}^{\ln K'_C} N_{AS} d \ln K'_C - \int_{C_0}^{\bar{C}_0} \frac{d\bar{C}_0}{n} \quad ; \quad (5)$$

$$\frac{1}{Z_B} \ln \gamma_{BS} = - \int_{\ln K'_C}^{\ln K'_C} N_{AS} d \ln K'_C - \int_{C_0}^{\bar{C}_0} \frac{d\bar{C}_0}{n} \quad ; \quad (6)$$

$$\ln K_{\text{термод.}} = - \int_0^1 \ln K'_C dN_{AS} - \int_{C_0(N_{AC}=1)}^{\bar{C}_0(N_{BC}=1)} \frac{d\bar{C}_0}{n} \quad ; \quad (7)$$

burada,  $n = C_A \cdot Z_A + C_V \cdot Z_B$ ,  $S_0 = S_A + S_V$ ,  $dS_0 = dC_A + dC_B$ ;  $K'_C = \frac{K_C \cdot \gamma^{1/Z_B}}{\gamma^{1/Z_A}}$

$Z_A$  və  $Z_B$ - ionların valentliyidir;  $C_0$  və  $n$  – cəm şəklində məhlulun və ionitin molyar qatılıqlarıdır.  $\frac{\gamma_{BC}^{1/Z_B}}{\gamma_{AC}^{1/Z_A}} = 1$  olduqda  $K'_C = K_S$ .  $K_S$  – ion mübadilə tarazlığının qatılıq sabiti.

Sərbəst enerjinin və ya izobar-izotermiki potensialın dəyişməsi standart kimyəvi potensialların fərqi qismində olur, standart Gibbs enerjisinin dəyişməsi müşahidə olunur, bu da aşağıdakı tənliklə xarakterizə olunur:

$$\Delta G^0 = - \frac{2,3RT}{Z_A \cdot Z_B} \lg K_{\text{термод}} \quad ; \quad (8)$$

Reaksiyanın standart entropiyası olan  $\Delta S^0$  və entalpiyanın dəyişməsi -  $\Delta N^0$  Gibbs enerjisinin dəyişməsi əsasında aşağıdakı formulalarla hesablanır:

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \quad ; \quad (9)$$

$$\Delta H^0 = E_a - RT \quad ; \quad (10)$$

**Statik təcrübələrin metodikası.** Statik təcrübələrin metodikası modifikasiya olunmuş seolitlərin tədqiq olunan ionlara görə tarazlıq mübadilə tutumlarının tapılmasına əsaslanır və aşağıdakı şəkildə müəyyənləşir: 1 q miqdarında olan seolit nümunələri (mütləq quru çəkiyə gətirilmiş) tutumu 250-300 ml olan ağızları sıx tıxaclarla bərkidilmiş kolbalara daxil edilir və kolbalara yuxarıda göstərilən ionların müxtəlif qatılıqlarda ( $1 \cdot 10^{-4}$ n-dan 0,1n-la qədər) nitratlı və xloridli məhlulları ( $V=100$ ml) əlavə olunur. Kolbalar silkələyici aparata daxil edilir və sorbsiya tarazlığı yaranana qədər bu aparatda qarışdırılır. Tarazlıq məhlullarında ionların miqdarı təyin olunandan sonra koordinat sistemində izoterm əyriləri qurulur-ordinat oxunda ionların sorbsiya olunmuş miqdarları, absiss oxunda isə ionların tarazlıq qatılıqları arasında asılılıq əyrisi qurulur. Əyrilərin doyma oblastlarına uyğun  $mq-ekv/q$ -la izotermlərdən sorbentlərdə udulmuş tarazlıq tutumları təyin olunur. Tədqiq olunan ionların  $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ ,  $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ ,  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$  kimi ammoniyaklı komplekslərinin alınması müvafiq ionların xloridli məhlullarına ammoniyak məhlulu əlavə etməklə pH-ın 8-11 intervalında dayanıqlı komplekslərin əmələ gəlməsinə əsaslanıb.

Seolit və məhlulda ekvivalent qatılıqlarına əsasən sorbsiya olunmuş ionların izotermlərinin qurulması həmçinin başqa şəkildə - ionların məhlulda həcmələrinin dəyişməsi metodikası əsasında da qurulmuşdur. Çəkilən bu və ya digər qatılıqlı məhlulların həcmələrinə olan nisbəti elə şəkildə hazırlanmışdır ki, məhlulda və seolitdə mübadilə olunan ionların molyar hissələri arasında imkan daxilində daha geniş interval yaransın. Termodinamik ion-mübadilə sabitinin hesablanması üçün A.M. Tolmaçev və V.İ.Qorşkov tərəfindən verilmiş tənlik (7) istifadə olunmuşdur. Həmçinin mübadilənin qatılıq sabitinin ( $K_C$ ) qiymətində təyin olunmuşdur. Bu zaman ayrıca təcrübələr vasitəsilə seolitlərin tam mübadilə tutumları da hesablanmışdır.

Mübadilə izoterminin qeyri-simmetrik forması və onda S-ə bənzər çıxıntıların alınması bərk fazada fəallıq əmsallarının nisbətlərinin və mübadilə olunan ionun molyar hissəsinin dəyişməsi ilə izah olunur.

Fəallıq əmsalının sorbent fazasında  $\left(\bar{N}\right)$  sorbsiya olunmuş ionun ekvivalent hissəsindən asılılığı, yaxud  $K_C, \lg K_S = f\left(\bar{N}\right)$ , funksiyası Na-klinoptilolit və Na-mordenit üçün yaxşı nümunə sayılır ki, sorbent fazasında müxtəlif ekvivalent qatılığında məhluldan mübadilə zamanı ionun xüsusiyyəti məhlulun qatılığından asılı olmur. Əyriyə ionların və sorbentlərin növlərinə görə bir-birindən fərqlənir.

Cədvəl 3-də (7) tənliyi ilə hesablanmış tədqiq olunan bir sıra sistemlər üçün tarazlığın termodinamik ion-mübadilə sabitlərinin kəmiyyətləri verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi məhlullardan Na-klinoptilolit və Na-mordenitdə müvafiq ionlar üçün termodinamik tarazlıq sabitlərinin qiymətləri, ekvivalent qatılığının dəyişməsi  $1 \cdot 10^{-4}$  n ilə  $1 \cdot 10^{-1}$  n arasında demək olar ki, 1000 dəfə fərqləndiyi halda, ancaq təcrübələr xətalari intervalında cüzi fərqlənir, demək olar ki, dəyişmir.

Bu onun nəticəsidir ki, məhlulun qatılığının dəyişməsi mübadilə olunan ionların fəallıq əmsallarının nisbətələrinin dəyişməsinə o qədər də böyük təsir göstərmir, yəni,  $\gamma_{Na^+} / \gamma_{[Me^{2+}, Me_{kompl}^{2+}]} = const.$  Analoji nəticə Na-forma mordenit üçün də alınmışdır.

Cədvəl 4-ə yuxarıda tədqiq olunan bəzi ionların Na-klinoptilolit və Na-mordenitdə ion-mübadilə prosesinin bir sıra termodinamik parametrlərinin qiymətləri salınmışdır. Cədvəl 4-dən görüldüyü kimi, mübadilə prosesi zamanı ammoniyaklı kompleks ionlarının fəallaşması üçün bu enerjinin ( $E_a$ ) daha böyük qiymətləri lazım gəlir, bu da onunla izah olunur ki, sadə ionlarla müqayisədə kompleks ionlar daha az mütəhərrikiyə malikdir. Entalpiyanı çox vaxt istilik tutumu hesab edirlər. İon-mübadilə reaksiyalarında entalpiyanın dəyişməsi o qədər də böyük olmur. Bu istilik reaksiyaya girən komponentlərdə saxlanılır, ona görə ki, bu komponentlər otaq temperaturu şəraitində olurlar. İon-mübadilə proseslərinin yüksək temperaturlarında bu gizli enerji istilik şəklində ayrılır.  $Ag^+, Hg^{2+}, Cd^{2+}$  ionlarının seolitlərdə sorbsiyası zamanı yaranmış yüksək qiymətlər bu mənada heç bir şübhə doğurmur ki, bu ionların iştirakilə ion-mübadilə prosesləri kifayət qədər böyük sürətlə baş verir. Bu zaman entalpiya şəklində yüksək miqdarda istilik ayrılır.

Na-klinoptilolitdə və Na-mordenitdə məhlulların qatılıqlarında sorbsiya olunmuş  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  və  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  ionlarının termodinamik ion-mübadilə sabitlərinin ( $K_T$ ) qiymətləri

İon-mübadilə sistemi	İonların başlanğıc qatılıqları, mq-ekv/ml	(7) formulası ilə hesablanmış, $K_T$	$K_T$ , orta	İon-mübadilə sistemi	İonların başlanğıc qatılıqları, mq-ekv/ml	(7) formulası ilə hesablanmış, $K_T$	$K_T$ , orta
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,1	0,8016	0,7812	Klinoptilolit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,1	0,4982	0,4653
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,001	0,7818		Klinoptilolit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,001	0,4651	
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,0001	0,7602		Klinoptilolit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,0001	0,4326	
Mordenit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,1	0,6728	0,6591	Mordenit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,1	0,1471	0,1282
Mordenit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,001	0,6586		Mordenit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,001	0,1329	
Mordenit (Na)+ $\text{Ag}^+$	0,0001	0,6459		Mordenit (Na)+ $\text{Hg}^{2+}$	0,0001	0,1046	
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,1	0,0711	0,0650	Klinoptilolit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,1	0,1493	0,1416
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,001	0,0638		Klinoptilolit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,001	0,1403	
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,0001	0,0601		Klinoptilolit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,0001	0,1352	
Mordenit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,1	0,0288	0,0266	Mordenit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,1	0,1411	0,1381
Mordenit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,001	0,0276		Mordenit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,001	0,1400	
Mordenit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,0001	0,0234		Mordenit (Na)+ $\text{Cd}^{2+}$	0,0001	0,1332	
Klinoptilolit (Na)+ $\text{Ni}^{2+}$	0,1	0,1569	0,1521	Klinoptilolit(Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,1	0,2236	0,2141
Klinoptilolit(Na)+ $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0,001	0,1544		Klinoptilolit(Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,001	0,2143	
Klinoptilolit(Na)+ $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0,0001	0,1450		Klinoptilolit(Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,0001	0,2044	
Mordenit(Na)+ $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0,1	0,1502	0,1471	Mordenit (Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,1	0,1763	0,1607
Mordenit (Na)+ $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0,001	0,1478		Mordenit (Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,001	0,1611	
Mordenit (Na)+ $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0,0001	0,1433		Mordenit (Na)+ $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,0001	0,1447	

Cədvəl 4

Na-klinoptilolit və Na-mordenitdə  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$  və  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  ionlarının mübadiləsinin bir sıra termodinamik parametrlərinin ( $E_a$ ,  $\Delta G^0$ ,  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S^0$ ) qiymətləri

Sistem	$E_a$ ; kC/q-ion	$\Delta G^0$ ; kC/q-ion	$\Delta H^0$ ; kC/q-ion	$\Delta S^0$ ; C/K·q-ion	Sistem	$E_a$ ; kC/q-ion	$\Delta G^0$ ; kC/q-ion	$\Delta H^0$ ; kC/q-ion	$\Delta S^0$ ; C/K·q-ion
Klinop. (Na) + $\text{Ag}^+$	49,1736	0,6079	42,5081	140,3415	Mordenit (Na) + $\text{Ag}^+$	38,2673	1,0885	35,7887	116,2255
Klinop. (Na) + $\text{Cd}^{2+}$	21,5252	2,4204	19,0466	55,6844	Mordenit (Na) + $\text{Cd}^{2+}$	19,1337	2,4534	16,6551	47,5620
Klinop. (Na) + $\text{Ni}^{2+}$	20,2298	2,7742	16,7635	45,7617	Mordenit (Na) + $\text{Ni}^{2+}$	17,7462	2,5255	22,4596	67,9517
Klinop. (Na) + $\text{Hg}^{2+}$	30,6139	0,9466	28,1353	91,0629	Mordenit (Na) + $\text{Hg}^{2+}$	27,3611	2,5422	24,8826	74,8181
Klinop. (Na) + $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	22,3098	2,3316	19,8312	58,6152	Mordenit (Na) + $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	28,7005	2,3731	26,2219	79,8841
Klinop. (Na) + $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	25,5051	1,9083	23,0265	70,7150	Mordenit (Na) + $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	22,9604	2,2638	20,4818	61,0017



Məlumdur ki, kiçik atom nömrəsi olan kation böyük atom nömrəsi olan kationla əvəz olunduqda ion-mübadilə materialında suyun miqdarının azalması müşahidə olunur və müvafiq olaraq entropiya artır. Bizim prosesdə  $\text{Na}^+ - \text{Ag}^+$ ,  $\text{Na}^+ - \text{Hg}^{2+}$  sistemində entropiyanın qiyməti  $\text{Na}^+ - \text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ - \text{Cd}^{2+}$  sistemlərindəki qiymətlərlə müqayisədə daha böyükdür. Eyni zamanda ammoniyaklı kompleks ionlarının radiusları sadə ionların radiusları ilə müqayisədə daha yüksəkdir. Bununla əlaqədar olaraq  $\text{Na}^+ - [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ - [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  mübadiləsi zamanı adi ionların mübadilə proseslərindəki qiymətləri ilə müqayisədə entropiyanın qiymətləri daha yüksək qiymətlərlə xarakterizə olunur.

Reaksiyanın həyata keçməsinin yəqinliyini dəqiq xarakterizə etmək məqsədilə kimyəvi termodinamikada sərbəst enerji adlanan kəmiyyətdən ( $\Delta G^0$ ) istifadə olunur. Əgər hansısa bir reaksiya üçünsə  $\Delta G^0$  sıfıra yaxınlaşırsa, onda bu reaksiya nəzərdə tutulan tarazlıq halına yaxınlaşır.

Sürət və selektivlik nə qədər böyükdürsə, sərbəst enerjinin qiyməti də bir o qədər minimal olmalıdır, bu da bizim təcrübədə təsdiq olunur.

Fenol və sulfonolun məhlullardan sintetik anionit AB-17-OH və fəallaşdırılmış kömür KAD-yodluda sorbsiya izotermlərinin qurulması fenol və sulfonolun bu sorbentlərdə sorbsiya olunmanın fərqi müəyyən edən beş amili aşkara çıxarmağa şərait yaradır və onların sorbsiyanın seçiciliyi haqqında suallara yaxınlaşmağa imkan verir.

Fenol və sulfonol birləşmələrinin sorbsiyasının tədqiqi dəyişən həcmli metodla həyata keçirilmişdir:  $g$  (sorbentin çəkisi) = const;  $C$  (məhlulun qatılığı) = const;  $V$  (məhlulun həcmi)  $\neq$  const.

Dəyişən həcmli təyinat metodunda çəkilmiş sorbentlər ( $g=0,5q$ ) 250ml-lik kolbalara tökülür və üzərilərinə müxtəlif həcmlərdə ( $V=20,40,60,80, 100$  ml və s.) sorbsiya olunmuş maddələrin daimi qatılıqlarında ( $C_0=250, 500$  və  $1000$  mq/l) məhlullar əlavə olunur.

Kolbalar silkələyici aparata keçirilir və 24 saat müddətində qarışdırılır (kinetik təcrübələrdən müəyyən olunmuşdur ki, verilən vaxt tam şəkildə sorbsiya tarazlığını təmin edə bilir). Alikvot nümunələrdə tarazlıq müddəti təyin olunduqdan sonra

yuxarıda göstərilən metod üzrə fenol və sulfonolun tarazlıq məhlullarında fotokolorimetrik təyinat üsulu ilə qatılıqları müəyyən olunmuşdur.

Fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömür üzərində fenolun adsorbsiya izotermii qabarıqdır-məhlullardan bərk maddələr üzərində daha geniş yayılmış adsorbsiya izoterm formalarına uyğun gəlir. Fenolun AB-17-OH-dakı izotermi L-tip izoterminə uyğundur. Əgər adsorbsiya olunmuş molekullar arasında qarşılıqlı təsir kiçikdirsə fəallaşma enerjisi səthin dolma dərəcəsindən asılı olmur və izotermlər L-tipinə məxsus olur. L sinfi (Lenqmyur sinfi) daha ümumi hesab olunur; bu sinfə məxsus başlanğıc sahədə qatılıq oxuna olan nisbətdə izoterm çökük olur. Belə tip izotermlər səthi aktiv maddələrin məhlullarından, bəzi rəngləyici maddələrin və həmçinin fenolun bəzi törəmələrinin birləşmələrindən, yaxud yüksək fəallığa malik səthi-aktiv maddələr qarışığından sorbsiya zamanı alınır. Yaxud elə birləşmələr olur ki, onlar əsasən assosiatlar şəklində olurlar.

Lenqmyur tənliyinə əsasən alınmış sorbsiya izotermi nəzəri tədqiq etdikdə əsasən əksər hallarda sulu məhlullardan adsorbsiyanın təsviri aşağıdakı formula vasitəsilə göstərilir:

$$\frac{C}{a} = \frac{1}{a_{maks} \cdot K} + \frac{C}{a_{maks}} ; \quad (11)$$

burada, C-adsorbtivin məhlulda qatılığı, mq·l<sup>-1</sup>; a-adsorbtivin səthi qatılığı (sorbsiyanın miqdarı), mq·q<sup>-1</sup>; a<sub>maks</sub>-adsorbtivin bütün fəal mərkəzləri doldurduğu halda səthi qatılığı (sorbsiyanın maksimal miqdarı), mq·q<sup>-1</sup>; K-qatılıqdan asılı olmayan və verilən temperaturda sabit olan kəmiyyət.

Analoji ideya A.M. Tolmaçevin və onun əməkdaşları tərəfindən adsorbsiyanın stexiometrik nəzəriyyəsi əsasında inkişaf etdirilmiş ideyalara əsaslanır.

Həqiqətən də, dissertasiyada göstəriləyi kimi koordinat sistemində göstərilən izoterm xətti ölçüyə malikdir. Adsorbsiyanın xətti izotermi kəsişməsi halından S<sub>∞</sub> alınır və sonradan adsorbsiya tarazlığı sabitinin qiyməti hesablanır (K<sub>Lenqm.</sub>). Hesablanmış S<sub>∞</sub> və K<sub>Lenqm.</sub> kəmiyyətləri cədvəl 5-də verilmişdir. V cədvəldən görünür ki, izoterm əsasında alınmış S<sub>∞</sub> kəmiyyəti hər iki sorbentdə dinamiki-ion-mübadilə tutumu ilə uyğun gəlir. Nəzəri qiymətlər praktiki nəticələrlə üst-üstə düşür. Bu hal

təsdiq edir ki, Lenqmyur tənliyi fenol və sulfonolun KAD-yodlu və AB-17-OH sorbentlərində sorbsiya prosesinin təsiri üçün təmamilə münasibdir.

Tullantı sularının sulfonoldan təmizlənməsində mövcud olan üsullar- oksidləşdirici, kimyəvi, bioloji və s. suyun təmizlənməsini həyata keçirilməsi vasitəsilə mümkündür.

Cədvəl 5.

Fenolun və sulfonolun fəallaşmış KAD-yodlu kömüründə və sintetik anionit AB-17-OH-da adsorbsiya izotermindən alınmış udulma tutumu ( $S_{\infty}$ ) və adsorbsiya tarazlığı sabitinin ( $K_{Lenq.}$ ) qiymətləri

Sorbsiya sistemi	Məhlulun qatılığı, mq/l	Sorbentın fraksiyası, mm	$K_{Lenq.}$ , l/mq	Lenqmyur izotermii əsasında alınmış $S_{\infty}$ , mq/q	Dinamiki mübadilə tutumu (DMT), mq/q
KAD-yodlu +fenol	250	1,00-3,00	0,0748	43,85	51,17
	500	1,00-3,00	0,0363	62,52	
AB-17-OH +fenol	250	0,40-0,80	0,0592	38,65	60,27
	500	0,40-0,80	0,0238	57,73	
KAD-yodlu +sulfonol	500	1,00-3,00	0,0631	44,52	59,38
	1000	1,00-3,00	0,0296	64,15	
AB-17-OH +sulfonol	500	0,40-0,80	0,0518	43,21	62,26
	1000	0,40-0,80	0,0208	63,18	

Bu məqsədlə bir sıra sintetik və təbii sorbentlər, o cümlədən onların müxtəlif qatılıqlarda HCl və H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> turşuları vasitəsilə başlanğıc sorbentlərin emalı zamanı alınmış alüminiumsuzlaşmış formalarından istifadə olunmuşdur.

Bununla əlaqədar olaraq məhlullardan sulfonol molekuluna böyük aktivlik göstərən sintetik seolitlərdən olan NaU və NaX-in müxtəlif dərəcələrdə alüminiumsuzlaşmış formaları götürülmüşdür. Bu nümunələr «Ximprom» sənaye obyektindən götürülən sulfonolun (tullantı sularında onun qatılığı ~700 mq·l<sup>-1</sup>-dir) təmizlənməsində sınaqdan keçirilmişdir. Maye tullantılardan sulfonolun çıxarılmasında NaU və NaX-in alüminiumsuzlaşmış formalarından geniş cədvəldə istifadə olunmasına aid nəticələr cədvəl 6-ya daxil edilmişdir.

Cədvəldən göründüyü kimi NaU və NaX-in sulfonola görə maksimum tutumları 55,0 və 53,0 mq·q<sup>-1</sup> alüminiumsuzlaşmış 63,62 və 86,42 faizlərində yaranır.

Alüminiumsuzlaşmış NaU i NaX nümunələrində «Ximprom» sənaye obyektinin tullantı sularında sulfonolun adsorbsion təmizlənməsi

NaU	Alüminium suzlaşma dərinliyi, %	0	6,72	14,92	23,51	33,62	45,03	53,71	63,62*	72,25	86,06	91,05	95,80
	Nümunələrin sulfonola görə tutumu, mq/q	0	0	2,12	7,58	11,63	46,55	50,56	54,92*	14,23	8,28	4,25	2,08
NaX	Alüminium suzlaşma dərinliyi, %	0	3,91	9,63	17,73	26,91	35,60	43,21	54,63	68,23	77,32	86,42*	97,34
	Nümunələrin sulfonola görə tutumu, mq/q	0	0	7,90	11,63	13,06	14,33	15,16	16,82	20,15	23,81	52,63*	39,54

**Dördüncü fəsil** qeyri-üzvi və üzvi mənşəli zəhərli komponentlərin məhlullardan bərk sorbentlər üzərində dinamika prosesinin qanunauyğunluqlarına həsr olunmuşdur. Həll olmuş maddələrin adsorbentin hissəcikləri ilə sıxlaşmış kalonkalara doldurulmuş təbəqələrdən filtrasiyası məhlullardan maddələrin çıxarılmasının ən geniş yayılmış üsullarından sayılır. Adsorbsion dinamik filtrasiya qeyri-üzvi və üzvi çirklənmədən sənaye tullantı sularının dərinlən təmizlənmə texnologiyasında geniş tətbiq olunur.

II və III fəsillərdə verilmiş Na-klinoptilolit və Na-mordenitin bir sıra keçid elementlərini onların ionlarından çıxarılmasının kinetik və tarazlıq xarakteristikasına aid nəticələr göstərən sorbentlərin dinamik təcrübələrdə işlənməsinin effektiv qiymətləndirilməsini aşkara çıxarır. Tətbiq olunmuş seolitlərin kinetik və tarazlıq xüsusiyyətlərinin analizi göstərir ki, Na-forma klinoptilolitinin keçid elementlərinin ionlarına qarşı, xüsusilə onların ammoniyaklı komponentlərinə qarşı yüksək fəallığa malikdir. Buna görə də bir sıra keçid elementlərinin ionlarının sorbsiyasının dinamik qanunauyğunluqları bu ionların sənaye tullantı sularında qatılıqlarına uyğun qatılıqda Na-forma klinoptilolitdə həyata keçirilmişdir.

Fenol və sulfonolun fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və AB-17-OH anionitində sorbsiyanın dinamiki qanunauyğunluqları maddələrin sorbsiyasının kinetika və statikasını nəzərə alan sorbsiya prosesinin etapını təşkil edir, bunun

əsasında da prosesin hidrodinamiki və biristiqamətli amillərinin aşkara çıxarılması müəyyənleşir.

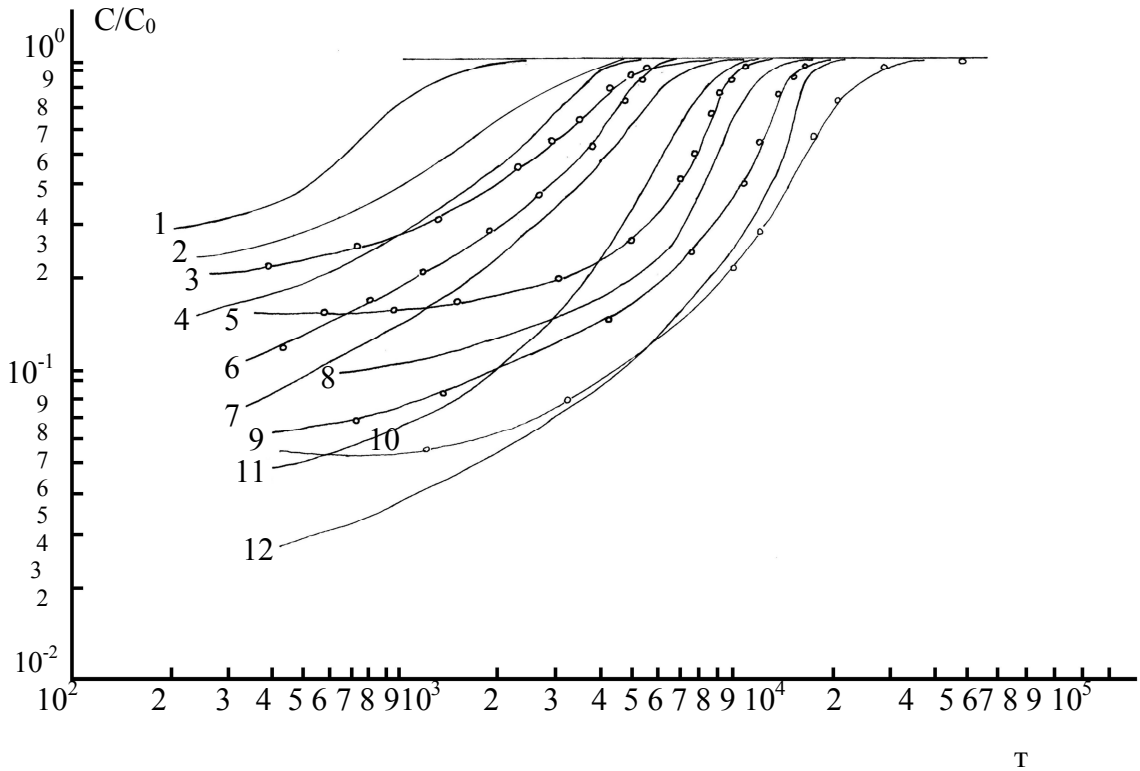
**Dinamiki təcrübələrin metodikası.** Təcrübələrdə II fəsildə göstərilən metodika əsasında hazırlanmış Na-forma klinoptilolitdən istifadə olunmuşdur. Göstərilən formadakı seolitın miqdarları (təcrübələrdə 2 q və 10 q-lıq nümunələrdən istifadə olunmuşdur, dənəvərliyin orta radiusu  $q=0,041$  sm-dir) müxtəlif diametrlili şüşə kolonkalara doldurulmuşdur. Sonradan şüşə çubuq vasitəsilə yüngülcə kolonkaları taqqıldatmaqla hava qovuguları kolonkalardan çıxarılmış və müntəzəm sıxlaşmış seolit təbəqəsindən ibarət seolit kolonkaları hazırlanmışdır. Bu qayda ilə hazırlanmış kolonkalar əvvəlcədən düzəldilmiş qurğuya birləşdirilmişdir ki, keçid metalları ionlarının sorbsiyasının dinamikası məhlulların aşağı qatılıqlarında tədqiq olunsun. Qurğu elə aparata birləşdirilib ki, bu zaman həm məhlulun filtrasiya sürəti tənzimlənir, həm də bütün təcrübə boyu bu sürət sabit saxlanılır. Bu məqsədlə Mariott qabı variantlarının biridən istifadə olunmuşdur. Qab adı ayrıca qıfıdan (həcmi təxminən bir litrə qədərdir) ondan salladılmış zərif borucuqdan ibarətdir.  $Ag^+$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$  həmçinin onların bəzilərinin müxtəlif qatılıqlı ammoniyaklı komplekslərindən ibarət məhlullarla doldurulmuş qıf burada təminədicilə qabdan ibarət sistem rolunu oynayır. Təcrübənin əvvəlində bu qıf rezin boru vasitəsilə kolonkaların girişinə bərkidilir. Qıfın aşağı hissəsində kranın açılması zamanı məhlul kolonkanı və rezin borucuğu doldurur, eyni zamanda təminədicilə qabın yuxarısında sıxlaşmış hava oradan qovulur. Təcrübədə bizə lazım olan məhlulun filtrasiya sürəti sorbent üzərində maye təzyiqinin dəyişilməsi yolu ilə saxlanılmışdır.

Yuxarıda göstərilən ionların sorbentlərin müxtəlif dənəvərliyində, filtrasiyanın müxtəlif sürətlərində və qatılıqlarında çıxım əyriləri alınmışdır.

Şəkil 3-də tədqiq olunan keçid elementləri və onların bəzilərinin ammoniyaklı kompleksləri məhlullarının Na-klinoptilolitdə müxtəlif sürətlərdə filtrasiyanın çıxım əyriləri verilmişdir.

Məhlullardan ion-mübadilə materiallarında müxtəlif ionların sorbsiyasının dinamikası üçün tənliklər sisteminin həlli M.M. Senyavin və əməkdaşlarının işlərində aparıldığı kimi  $C/C_0 - T$  koordinat sistemində ölçüsüz çıxım əyriləri ailəsindən

ibarətdir.  $C/C_0=f(t)$  eksperimental əyriləri  $C/C_0=\varphi(T)$  nəzəri əyriləri ilə əlaqələndirildikdə nəzəri və eksperimental əyrilər  $C/C_0$  oxu üzrə eyniləşir, eksperimental qrafik absiss oxu ( $t$ -oxu) istiqamətində tam uyğun gələnə qədər eksperimental əyri nəzəri əyriyə bərabər düşür.  $C/C_0$  ölçülü  $t$  (eksperimental-bütün əyri) və ölçüsüz  $T$  (nəzəri əyri-nöqtələr) tapılır.



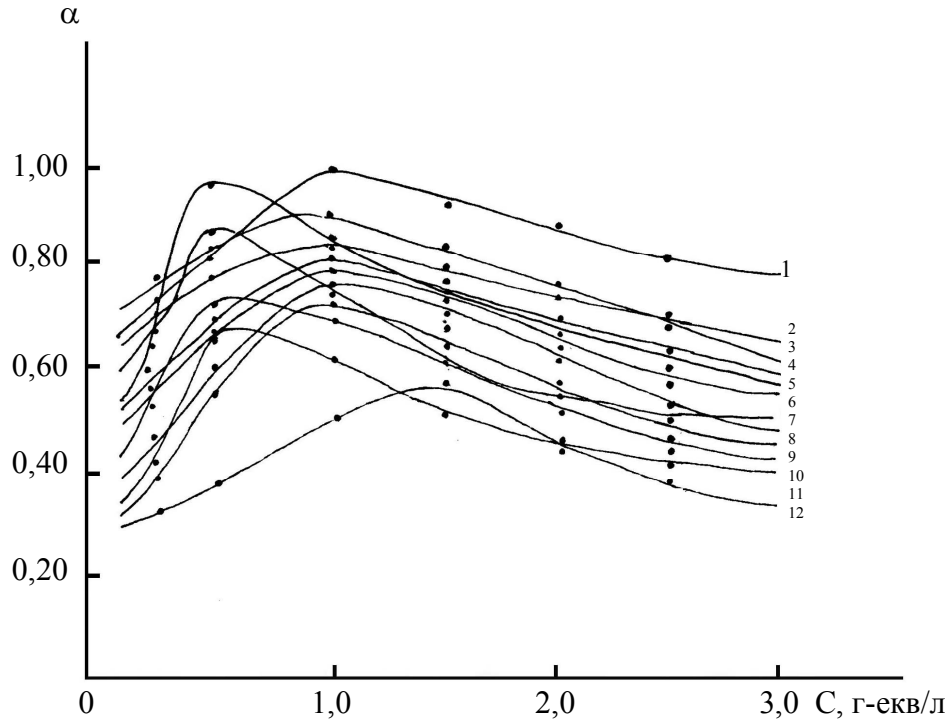
**Şək. 3.**  $Cd^{2+}$ ,  $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $[Co(NH_3)_6]^{2+}$  ionlarının filtrasiyanın müxtəlif sürətlərində na Na –kлинoptilolitdə eksperimental (bütün əyri) və hesablanmış (nöqtələr) çıxım əyriləri

$Cd^{2+}$ : (mq/l) :	1 – 20 ml/dəq ; 3 – 10 ml/ dəq ; 8 – 5 ml/ dəq
$[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ :	2 – 20 ml/ dəq ; 5 - 10 ml/ dəq; 10- 5 ml/ dəq
$Co^{2+}$ :	4 – 20 ml/ dəq ; 6 – 10 ml/ dəq ; 7- 5 ml/ dəq
$[Co(NH_3)_6]^{2+}$ :	9 - 20 ml/ dəq ; 11- 10 ml/ dəq ; 12-5 ml/ dəq

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi hesablanmış və eksperimental çıxım əyriləri kifayət qədər bir-birinə uyğun gəlir. Bu bizə əsas verir ki, seolitlərdə ion-mübadilə proseslərinin hesablanması üçün istifadə olunan metod bizim işimiz üçün təklif olunsun.

Şəkil 4-də regenerasiya olunmuş məhlulların qatılığında asılı olaraq seolit kolonkalarının regenerasiya dərəcələrinin qrafikləri verilmişdir. Göstərmək lazımdır ki,

seçilmiş regenerasiya şəraitində kolonkaların mübadilə tutumlarının bərpası təxminən  $2/3$  nisbətində başa gəlir.



**Şəkl. 4.**  $Ag^+$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  və  $[Co(NH_3)_6]^{2+}$  ionları ilə doydurulmuş Na -klinoptilolit kolonkalarının regenerasiya edici məhlullar olan  $NaNO_3$  və  $NaCl$ -in qatılıqlarından regenerasiya dərəcələrinin asılılıq əyriləri

$Ag^+$ -1( $NaNO_3$ )	$[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ - 4( $NaCl$ )	$[Co(NH_3)_6]^{2+}$ - 7 ( $NaCl$ )	$Co^{2+}$ - 10 ( $NaCl$ )
$Zn^{2+}$ -2( $NaCl$ )	$Cu^{2+}$ -5( $NaCl$ )	$[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ - 8 ( $NaCl$ )	$Ni^{2+}$ -11( $NaCl$ )
$[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ -3( $NaCl$ )	$Cd^{2+}$ -6 ( $NaCl$ )	$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ -9( $NaCl$ )	$Hg^{2+}$ - 12 ( $NaNO_3$ )

$t_1$ -dən  $t_2$ -yə qədər olan intervalda udulmuş kationların miqdarı sorbent səthində mübadilə sürətinin sorbentin daxilində zərrəciyin sürətinə nisbətləri ilə təyin olunur. Xarici və daxilidiffuzion mexanizmlərinin müvafiq miqdarları təxmini olaraq aşağıdakı ifadə ilə xarakterizə olunur:

$$H = \frac{R}{B} = \frac{\beta \cdot r^2}{D_{daxili} \cdot K_d} ; \quad (12)$$

burada,  $R$ - reaksiyanın sürət sabiti,  $san^{-1}$ ;  $B$ - mübadilənin sürət sabiti,  $san^{-1}$ ;  $\beta$ - xaricidiffuzion kinetik əmsal,  $san^{-1}$ ;  $r$ -sorbent zərrəciyinin radiusu,  $sm$ ;  $D_{daxili}$ -daxili diffuziya əmsalı,  $sm^2 \cdot san^{-1}$ ;  $K_d$ -tarazlıq paylanma əmsalı,  $ml \cdot q^{-1}$ .

Bundan sonra (12) formulası üzrə H hesablanır. Əgər  $H < 1$ , prosesin sürəti xarici diffuziya ilə xarakterizə olunur. Əgər  $H > 1000$  olduqda - əsas rolu daxili diffuziya oynayır.  $1 < H < 1000$  olduqda isə prosesin sürətinə qarışıq diffuziya təsir göstərir (xarici və daxili). Əksər hallarda dinamik proseslərdə diffuziya prosesi qarışıq oblastda baş verir.

Fenol və sulfonolun sənaye maye tullantılarından sintetik anionit olan AB-17-OH və fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömüründə dinamik şəraitdə çıxarılması prosesinin optimal şərtinin hazırlanması zamanı kinetik və hidrodinamik amillərin rolu əsas götürülür. Məhlullardan sorbsiyanın dinamikasının sistematik qanunauyğunluqlarının tədqiqi sənaye maye tullantılarının tərkiblərinin modelləşdirilməsini tələb edir. Bunun üçün fenol və sulfonolun model məhlullardan  $C_0 = 500$  mq/l qatılığında, filtrasiyanın üç həcmi sürətində ( $V = 5,0; 10,0; 20,0$ ; ml/dəq) AB-17-OH və KAD-yodluda çıxım əyriləri çəkilmişdir.

Üzvi mənşəli komponentlərin (fenol və sulfonolun) məhlullardan fəallaşdırılmış kömür olan KAD-yodlu və AB-17-OH anionitində sorbsiyanın dinamikasına aid alınmış eksperimental nəticələr (13) və (14) tənlikləri vasitəsilə tədqiq olunmuşdur ki, bu barədə də dissertasiyada məlumat verilir. (13) və (14) tənlikləri V.V. Raçinski tərəfindən alınmışdır. Bu hesablama formulaları aşağıdakı kimidir:

a) Çıxım əyrisinin cəbhə eni boyu formulası:

$$\delta_V = \frac{U}{\beta} \cdot \frac{Q}{h} \cdot \frac{2 - \theta_0}{\theta_0} \ln \frac{1 - \varphi_i}{\varphi_i} ; \quad (13)$$

b) Çıxım əyrisi formulası:

$$V = \frac{1 + h}{h} V_0 - \frac{U Q}{\beta h} \left[ \frac{1}{\theta_0} \ln \frac{(1 - \varphi)^{1 - \theta_0}}{\varphi} - 1 \right] ; \quad (14)$$

burada,  $h = \frac{C_0 \cdot V_0}{S_\infty \cdot g}$  ( $S_\infty$  - sorbentin maksimal tutumu, mmol/l;  $g$ -kolonkadakı sorbentin

çəkisi, q;  $C_0$  – məhlulun başlanğıc qatılığı, mmol/ml);  $V_0 = LQ$  – sorbentin kolonkadakı məsamələrində tutulan məhlulun həcmi, ml;  $L$ -sorbent təbəqəsinin kolonkada hündürlüyü, sm;  $Q$ -sorbent təbəqəsi daxilində filtrasiya kəsiminin sahəsi,  $\text{sm}^2$ ;  $U$ -kolonkadaxili axının xətti sürəti, sm/san;  $\beta$ -diffuziyanın sürət sabiti,  $\text{san}^{-1}$ ;



$\theta_0 = \frac{KC_0}{1 + KC_0}$  -vahidsiz sabit (burada, K-Lenqmyür tənliyində adsorbsiya tarazlığı

sabiti);  $\varphi = C/C_0$  – ölçüsüz nisbi qatılıq (burada, C-kolonkanın uzunluq vahidinə hesablanmış məhlulda sorbsiya olunmuş maddənin qatılığı);  $\varphi_i$ -sorbsion filtrin çıxımında qeydə alınmış minimal qatılıq (sıçrayış qatılığı).

Xromatoqrafik təcrübələr üçün  $Ni^{2+}$  və  $Co^{2+}$  komponentləri ionlarının müxtəlif nisbətlərdə qarışıqları hazırlanmışdır:  $Ni^{2+}: Co^{2+}=1000:1; 100:1; 1:1$  və  $Co^{2+}: Ni^{2+}=1000:1; 100:1; 1:1$ . İonların ayrılması Na-klinoptilolitdə həyata keçirilmişdir. Yuyulma əyriləri göstərir ki, qarışıqda kobalt və nikel ionlarının bərabər nisbətlərində dimetilqlüoksimlə doydurulmuş Na-klinoptilolit kolonkasında əvvəlcə ardıcılıqla 1,0 və 3,0 n NaCl–in məhlullarında kobalt ionları yuyulur, sonra tam şəkildə 5 n NaCl məhlulu ilə nikel ionları yuyulur.

$[Ni(NH_3)_6]^{2+}:[So(NH_3)_6]^{2+}$  ionlarının 5:1; 10:1; 100:1; 1000:1 nisbətlərində 0,5-1,00 n intervalında NaCl məhlulu ilə yuma zamanı kolonkadan tam şəkildə (98-99%) nikel ionları yuyulub çıxmışdır. Bu zaman məhlullarda kobalt ionları müşahidə olunmayıb. Sonradan kobalt ionları 2,0-4,0 n NaCl vasitəsilə tam şəkildə kolonkadan yuyulub çıxmışdır.

Kadmium və sink ionlarının ammoniyaklı kompleks və sadə ion qarışıqlarının  $[Sd(NH_3)_4]^{2+}:[Zn(NH_3)_4]^{2+}$  və  $Sd^{2+}:Zn^{2+} = 1:1000; 1:100$  nisbətləri hazırlanmışdır. Hər iki ion cütlükləri üçün xromotoqrafik təcrübələrin metodikası və xromotoqrafik ayrılma əyriləri ətraflı şəkildə dissertasiyada verilmişdir.

Kadmium və sinkin ammoniyaklı kompleks ionlarının ayrılması zamanı elyuent kimi 1,0-5,0 n qatılıq intervalında hazırlanmış NaCl məhlullarından istifadə olunmuşdur. Kadmium və sinkin ammoniyaklı kompleks ionlarının bu komponentlərin qarışıqda 1:100 və 1:1000 nisbətlərində yuyulma əyriləri qurulmuşdur. Kadmium və sinkin ammoniyaklı kompleks birləşmələrinin həll olmasında yaranan kəskin fərq bizə imkan vermişdir ki, onların ayrılması NaCl-in müxtəlif qatılıqlarda məhlulları ilə həyata keçirilsin.

Dissertasiyanın **beşinci fəslində** bir sıra keçid və ağır metalların ionlarının, fenol və sulfonolun real sənaye tullantılarından qatılaşdırılmasına aid eksperimental işlərin nəticələri verilmişdir.

Əvvəlki fəsilərin materiallarının analizi göstərir ki, Na-forma klinoptilolit nəinki sadə ionlara qarşı, həmçinin bir sıra ionların ammonyaklı komplekslərinə də qarşı yüksək fəallıq göstərir və maye sənaye tullantılarından müvafiq ionların çıxarılması və qatılaştırılması üçün istifadə oluna bilər.

İonların izotermlərinin xətti xarakterdə olması şərait yaradır ki, müxtəlif ionların aşağı qatılıqlarında, hansı ki, belə hal M.M. Senyavin və onun əməkdaşlarının apardığı işlərdə rast gəlinir, maye tullantıların təmizlənməsində lazımi əhəmiyyət kəsb edən formulalardan istifadə etmək imkanı olur. Müxtəlif ionların onların mikroqatılıqlarından təmizlənməsində aşağıdakı formulalar sıçrayış anının təyini üçün və təmizlənmiş suyun miqdarını hesablamaq üçün istifadə olunur:

$$t_{sicc.}^0 = \frac{a_0 \cdot T}{C_0 \cdot \beta} \quad ; \quad (15)$$

$$\Phi_{sicc.}^0 = v \cdot S_q \cdot t_{sicc.}^0 \quad ; \quad (16)$$

burada,  $a_0$ -ion-mübadilə materialının tutumu, mq-ekv/q;  $C_0$ -məhlulda təmizlənən ionun başlanğıc qatılığı, mq-ekv/ml;  $\beta$ -daxilidiffuzion kinetik əmsal,  $\text{san}^{-1}$ ;  $v$ -məhlulun filtrasiyasının xətti sürəti, sm/san;  $S_q$ -kolonka kəsiminin sahəsi,  $\text{sm}^2$ ;  $T$ - (vahidsiz zaman parametri ( $T = \frac{t \cdot \beta}{F}$ )), burada  $Q$ -vahidsiz paylanma əmsalı.

Maye tullantılardan ionların qatılaştırılması metodikası aşağıdakı kimi təsnif edilir: maye tullantılar ionların müəyyən başlanğıc qatılıqlarında (cədvəl 7) 0,5 sm/san sürəti ilə kolonkadan – Na-klinoptilolit təbəqəsindən (sorbentin çəkisi - 50 q) tam doymaya qədər buraxılır. Sonradan kolonkalar müvafiq regenerasiyaedici məhlullarla 0,25 sm/san sürəti ilə kolonkadan ionların tam çıxarılmasına qədər yuyulur.

Gümüş ionları fotomateriallardan ayrılan maye tullantılardan (Respublika telestudiyasının tullantıları nümunəsində) onların elektrolitik emalından sonra qarışdırılıb. Nümunələrin bir neçə dəfə [Fiksaj məhlullarının dərin elektrolitik emalından sonra, tullantıda 10-12 mq/l qatılığında gümüş ionları qalır ki, bu da təxminən normal qatılıqla  $1,14 \cdot 10^{-4}$  mq-ekv/ml-ə uyğundur] dərin elektrolizə uğradıldıqdan sonrakı porsiyası götürülmüşdür. Filtrasiya olunmuş tullantının həcmindən asılı olaraq (300 ml; 600 ml; 900 ml; 1,2 l) gümüş ionlarının qatılaştı-

## Rəngli metal ionlarının maye tullantılardan Na-klinoptilolitdə qatılaşdırılması

İon-mübadilə sistemi	Maye tullantılarda ionların qatılığı, n	Adsorbsiya		Desorbsiya		Qatılaşdırma dərəcəsi, A/B
		Məhlulun tam şəkildə rəngli metal ionlarından təmizlənmiş həcmi, ml		Desorbentin (NaCl, NaNO <sub>3</sub> ) optimal qatılığı, n	Kolonkadan adsorbsiya olunmuş ionun tam şəkildə çıxarılması üçün sərf olunan regenerasiya məhlulunun həcmi, ml (B)	
		Eksperiment (A)	(15) və (16) formulaları əsasında hesablanmış			
Na <sup>+</sup> - Ag <sup>+</sup>	$1,14 \cdot 10^{-4}$	686	698	1,00	53,32	13,08
Na <sup>+</sup> - Ni <sup>2+</sup>	$5,23 \cdot 10^{-3}$	353	368	0,50	33,68	10,48
Na <sup>+</sup> - [Ni(NN <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup>	$6,14 \cdot 10^{-3}$	287	304	1,00	25,43	11,95
Na <sup>+</sup> - Co <sup>2+</sup>	$7,21 \cdot 10^{-3}$	712	735	0,50	64,96	10,96
Na <sup>+</sup> - [Co(NN <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup>	$6,98 \cdot 10^{-3}$	683	702	0,50	55,26	12,36
Na <sup>+</sup> - Cd <sup>2+</sup>	$6,81 \cdot 10^{-3}$	332	344	1,00	27,48	12,08
Na <sup>+</sup> - [Cd (NN <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup>	$6,64 \cdot 10^{-3}$	314	326	1,00	22,46	13,98

rılma dərəcələri demək olar ki, dəyişməyib (15,51; 14,48; 13,98; 13,08), orta hesabla 14,26-ya uyğundur. Bütün digər qatılaştırılan ionlar üçün də bu həcmi ardıcılıq dəyişməmiş qalmışdır.

$\text{Ni}^{2+}$  ionları  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  şəklində dağ süxuru olan serpentinitin tərkibindən onun kompleks emalı zamanı maqnezium-sulfat ayrıldıqdan sonra qalan tullantıdan qatılaştırılmışdır. Bu tullantının daimi tərkib hissəsi kimi kobalt və nikel ionları olur. H.X.Əfəndiyevin əsərində göstəriləyi kimi serpentinitin emalından sonra tullantı suyunda nikel və kobalt ionlarının orta miqdarı demək olar ki, 0,20% təşkil edir.

Serpentinitin 5%-li sulfat turşusu ilə emalından sonra götürülmüş maye tullantıda nikel ionlarının qatılığı  $4,5 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}$  mq-ekv/ml intervalında olmuşdur.  $\text{Ni}^{2+}$  ionlarının qatılaştırılması üçün nəzərdə tutulan tullantıda məhlulun pH-ı müəyyən edilmişdir. pH-ın qiyməti 2,5-3,0 intervalı arasında dəyişmişdir. Natrium-klinoptilolit turşuyadavamlılığını nəzərə aldıqda  $\text{Ni}^{2+}$  ionlarının qatılaştırma dərəcəsi 10,48, nikelin kompleks ion formasında ( $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ) isə bu gös -tərici 12,91 olmuşdur. Tullantının pH-ı məhlula  $\text{NH}_4\text{OH}$  əlavə edildikdə 10,0-11,0 intervalına yaxınlaşmışdır. Bu intervalda nikelin ammoniyaklı kompleksi davamlı olmuşdur. Sorbentin özü də qələvi mühitdə davamlılığını qoruyub saxlaya bilib.

Serpentinit 5%-li sulfat turşusu məhlulu ilə emal etdikdə onun maye tərkibində pH-ın 3-4 intervalında kobalt ionlarının qatılığı  $7,21 \cdot 10^{-3}$  mq-ekv/ml olur.

Kobalt ionları ammoniyaklı kompleks formaya keçdikdə ( $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ) tullantıda ionun qatılığı  $6,98 \cdot 10^{-3}$  mq-ekv/ml miqdarında olur. Tullantıya 25%-li  $\text{NH}_4\text{OH}$  məhlulu əlavə etdikdə pH- 9-10-a yaxınlaşır. İkivalentli halında ionun qatılaştırma dərəcəsi 10,96, ammoniyaklı kompleks şəklində isə ~12,36 olur.

Təbiətdə kadmium polimetallik sulfid filizləri tərkibində rast gəlir. Polimetallik sulfid filizi olub Azərbaycanın Filizçay yataqlarında onun tərkibinin dəyişmə intervalı 0,01-0,02% tərtibində olur. Göstərilən filizin sinkli konsentratında kadmiumun qatılıq intervalı 0,02-0,1%-dir. Sinkin müəyyən miqdarının konsentratda emalı zamanı makro-komponent kimi kadmiumun maye tullantısına daxil olur.

$\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Cd}^{2+}$  ionlarının qatılığının təyini göstərir ki, bu ionlar məhlulda  $\text{Zn}^{2+} : \text{Cd}^{2+} = 100:1$  [ $1 \cdot 10^{-1}$  n :  $1 \cdot 10^{-3}$  n ] nisbətində olur.

Bu faktı nəzərə alsaq ki,  $Zn^{2+}$  və  $Cd^{2+}$  ionlarını qarışıqda ayırmaq mümkün deyil,  $Cd^{2+}$  ionları  $Zn^{2+}$  ionları ilə qarışıq şəkildə qatılaştırılmışdır (Dissertasiyada dəstərləndiyi kimi sulu məhlullardan bu ionları biz Na-klinoptilolitdə nitrozo-R-duzu indikatoru vasitəsilə ayırmışıq).

Tullantı qarışığında  $Cd^{2+} : Zn^{2+} = 1:10; 1:100; 1:1000$  nisbətində KU-2-8-Na sintetik kationitində  $Cd^{2+}$  ionlarının qatılma dərəcəsi orta hesabla 20,18, Na-klinoptilolitdə isə bu kəmiyyət 15,68 qiymətində olur. Sənaye sorbenti KU-2-8-in böyük dövlət məsrəfləri hesabına başa gəldiyini nəzərə alsaq, onun əvəzinə Na-klinoptilolit kimi ucuz sorbenti təklif etmək olar.

Beləliklə, əsas qeyri-üzvi kationlar müxtəlif maye sənaye tullantılarından çıxarılmış və qatılaştırılmışdır.

Dissertasiya işində fenolun Yeni Bakı Neftayırma zavodunun (YBNZ), ləngidilmiş koklaşdırma prosesində katalitik və termiki istehsal sahələrinin və Bakının Sənaye Birliyi olan dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpusunun tullantı sularından lokal təmizlənmə nəticələri verilmişdir. Bərk sorbentlər qismində sənaye istehsalı olan AB-17-OH, GDG-10P-OH, AN-2F, AH-1 və fəallaşdırılmış kömür olan KAD-yodlu kimi sintetik sorbentlər götürülmüşdür.

YBNZ-nin göstərilən qurğusunun tullantı suyu aşağıdakı tərkibə malikdir, mq/l: fenol- 500-800,  $H_2S$ -50-80,  $NH_3$ -100-150, neft məhsulları – 100-350. Bu tərkibli tullantı suyu dinamik şəraitdə aşağıda göstərilən sorbentlərlə doldurulmuş kolonkalar fenola doyana qədər ayrı-ayrılıqda müəyyən sürətlə filtrasiya olunmuşdur. Fenola görə hesablanmış sorbsiya tutumları aşağıdakı kimidir, mq/q:

AV-17-ON.....33,0 – 35,0

KAD-yodlu.....40,0 – 42,0

GDG-10P.....23,0 – 25,0

AN-2F.....12,5 – 15,0

AN-1.....8,0 – 11,0

Bakı dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpusunun tullantı suyu çoxkomponentli sistemidir. Dərinin aşılması burada əsasən sintetik aşılama maddələri olan sintanlar (SPS, BNS, kükür ekstraktı və s.) vasitəsilə həyata keçirilir. Həmin korpusun tullantı

suyundakı fenolun miqdarı 200-250 mq/l intervalı qatılığında dəyişir və fenolun tullantı su tərkibində kanalizasiyaya buraxılmağa icazə verilən qatılıq həddindən dəfələrlə çoxdur.

Müəyyənləşdirilib ki, sərbəst halda fenol göstərilən aşılایıcı maddələrin tərkibində olur və tullantı sularına dərinin aşılانması zamanı daxil olur. Sintetik aşılایıcı maddələrdən ayrılan sərbəst fenolun tam şəkildə qatılığы 190 mq/l-dən 245 mq/l arasında dəyişir, yaxud bu qatılıq həddi Qırmızıpalıd korpusunun tullantı suyundakı fenolun qatılığına uyğun gəlir.

Bakı dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpuslu tullantı suyuna sintetik aşılایıcıların tərkibindən fenolun keçməməsi üçün ikimərhələli üsul hazırlanmışdır:

- fenolun sintetik aşılایıcı maddələrin tərkibindən kəskin buxarla buxarəmələgətirici qurğuda toplanması və fenolun sulu kondensatının alınması;
- fenolun sulu kondensatdan 190-245 mq/l qatılığında bərk sorbentlər olan KAD-yodlu və AB-17-OH sorbentlərində sorbsiya üsulu ilə qatılaşdırılması.

Sulu kondensatdan fenola görə KAD-yodlu və AB-17-OH sorbentlərinin sorbsiya tutumları müvafiq olaraq 41,0 və 38,0 mq/q-dır. Tullantı suyu ilə fenolla doydu-rulmuş kolonkalardan regenerasiya aparmaq məqsədilə qaynar su, aseton və müxtəlif qatılıqlı NaOH məhlullarından istifadə olunmuşdur.

Fenolun göstərilən sənaye sahəsinin tullantı suyundan AB-17-OH anionitində və fəallaşdırılmış kömür olan KAD-yodluda 10-dan yuxarı adsorbsiya-desorbsiya tsikli aparılmış və bu zaman sorbentlərin fenola görə az da olsa fəallığı aşağı düşməmişdir (cədvəl 8).

4 ardıcıl birləşdirilmiş kolonkalardan AB-17-OH anionitindən YBNZ qurğusundakı fenolu tullantı suyundan fenolun filtrasiyası zamanı son çıxımda onun qatılığы 1mq/l-ə qədər aşağı salınmışdır.

Beləliklə fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və AB-17-OH anioniti fenol və onun birləşmələrinin YBNZ qurğusu və Bakı dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpusunun tullantı sularından lokal sorbsiya üsulu ilə təmizlənməsi məqsədilə bu müəssisələrə istifadə olunmaq üçün təklif olunmuşdur.

Hər iki tullantıdan fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və sintetik anionit AB-17-OH-da fenolun qatılaşdırılma dərəcəsi 8,85-11,71 intervalında dəyişmişdir.

Cədvəl 8

YBNZ və dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpusunun tullantı sularından KAD-yodlu və AB-17-OH-la doydurulmuş fenolun NaOH məhlulu ilə regenerasiyası

Tsikli n nömrəsi	Fenola görə sorbentlərin tutumu, mq/q			
	YBNZ qurğusunun tullantı suyu		Qırmızıpalıd korpuslu dəri zavodunun tullantı suyu	
	KAD-yodlu	AB-17-OH	KAD-yodlu	AB-17-OH
1	41,75	35,42	41,32	38,10
2	41,50	35,40	41,00	38,00
3	41,23	35,40	40,88	38,00
4	40,66	35,20	40,56	37,85
5	40,10	35,00	40,05	37,66
6	39,78	34,80	39,70	37,48
7	39,54	34,50	39,47	37,18
8	39,25	34,44	39,16	37,00
9	38,84	34,12	38,92	36,87
10	38,38	33,92	38,54	36,80

Sumqayıtda yuyucu vasitə istehsal edən müəssisənin tullantı suyunda sulfonolun qatılığı 500-1000 mq/l və daha çox intervalda dəyişir ki, bu da sututarlara buraxılmağa icazə verilən qatılıq həddindən (İVQ) dəfələrlə çoxdur (regiondan asılı olaraq 0,1-dən 5 mq/l-ə qədər) Bizim tərəfimizdən təklif olunmuş bir sıra sənaye əhəmiyyətli sorbentlər, o cümlədən KAD-yodlu, AB-17-OH sorbentlərinin başqa sənaye nümunəli sorbentlərlə müqayisədə bu üzvi komponentin tullantıdan təmizlənməsində və tutumlarının hesablanmasında imkanları sınaqdan keçirilmişdir. Müqayisə üçün bir sıra sənaye sorbentlərinin sulfonola görə sorbsiya tutumları təyin olunmuşdur, mq/q: KAD-yodlu-54,55; AB-17-OH-63,08; GDG-10P-OH-58,82; sulfokömür-53,03; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (xromatoqrafik)-43,84. Sulfonolun C<sub>0</sub>=1075 mq/l qatılığında sənaye sorbentləri olan KAD-yodlu və AB-17-OH-da qatılaşdırılmasının metodikası aşağıdakı qaydadadır:

Tullantı suyu göstərilən qatılıqda 10 ml/dəq sürəti ilə sorbent təbəqələrindən, ayrılıqda kolonkaların sulfonolla doymasına qədər filtrasiya edilmişdir (KAD-yodlu və AB-17-OH doydurulmuş kolonkalar, çəkili - 2q). Sonradan sorbent kolonkaları ayrı-ayrılıqda 5ml/dəq sürəti ilə əvvəlcədən seçilmiş optimal qatılıqlı-1,5 n və 1,0 n HCl və NaCl regenerasiya məhlulları ilə kolonkaların sulfonoldan tam yuyulmasına qədər proses aparılmışdır. Qatılaşdırılma zamanı 1,0 n NaCl məhlulundan istifadə edilmişdir. Cədvəl 9 və 10-dan göründüyü kimi laboratoriyada bizim tərəfimizdən hazırlanmış şərtlər daxilində AB-17-OH və KAD-yodlu sənaye mənşəli sorbentlərdə qatılaşdırma dərəcələri C<sub>0</sub>=1075 mq/l qatılıqlı məhlulundan qatılaşdırılma dərəcələri orta hesabla 7-9 dəfə olmuşdur.

Sumqayıt şəh. «Ximprom» i/b-dən ayrılan tullantı suyundan sulfonolun ( $C_0=1075$  mq/l) AB-17-OH anionitində qatılaştırılması

Adsorbsiya				Desorbsiya		Qatılaştırma dərəcəsi, A/B
Filtrasiya olunmuş məhlulun həcmi, ml	Sorbent tərəfindən sorbsiya olunmuş sulfonolun miqdarı, mq, mmol	Sulfonolun maksimal təmizlənməsinə sərf olunan məhlulun həcmi, ml		Kolonkadan adsorbsiya olunmuş sulfonolun maksimal ayrılması üçün 1,0 n NaCl məhlulunun həcmi, ml (B)	Desorbsiya olunmuş sulfonolun elyuentdə miqdarı, mq, mmol	
		Ekspperimental (A)	(15) və (16) formulaları ilə hesablanmış			
300	30,75 (0,0788)	28,60	129,16	3,97	29,11 (0,0746)	7,21
600	62,84(0,1611)	58,45		7,80	60,38 (0,1548)	7,54
900	127,63(0,3272)	118,72		14,85	125,11 (0,3208)	8,07
1300	129,52(0,3321)	120,48		14,70	126,89 (0,3253)	8,26
						Or.7,770

Cədvəl 10

40

Sumqayıt şəh. «Ximprom» i/b-dən ayrılan tullantı suyundan ( $C_0=1075$  mq/l) sulfonolun fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömüründə qatılaştırılması

Adsorbsiya				Desorbsiya		Qatılaştırma dərəcəsi, A/B
Filtrasiya olunmuş məhlulun həcmi, ml	Sorbent tərəfindən sorbsiya olunmuş sulfonolun miqdarı, mq, mmol	Sulfonolun maksimal təmizlənməsinə sərf olunan məhlulun həcmi, ml		Kolonkadan adsorbsiya olunmuş sulfonolun maksimal ayrılması üçün 1,0 n NaCl məhlulunun həcmi, ml (B)	Desorbsiya olunmuş sulfonolun elyuentdə miqdarı, mq, mmol	
		Ekspperimental (A)	(15) və (16) formulaları ilə hesablanmış			
300	28,65 (0,0734)	26,65	120,44	3,82	26,16 (0,0670)	6,98
600	53,57 (0,1373)	49,83		7,09	50,98 (0,1307)	7,02
900	121,16 (0,3106)	112,70		14,52	118,21 (0,3031)	7,76
1200	123,42 (0,3164)	114,80		14,46	120,69 (0,3095)	7,94
						Or.7,4250



## NƏTİCƏLƏR

1.  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ni}[(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  və  $\text{Hg}^{2+}$  kimi keçid və ağır metal ionları və onların bəzilərinin ammonyaklı komplekslərinin təbii klinoptilolit və mordenitin  $\text{H}^+$  və  $\text{Na}^+$ -modifikasiyalı formalarında geniş qatılıq intervalında, həm də bu komponentlərin maye sənaye tullantılarında qatılıqlarına yaxın qatılıqda, həmçinin üzvi mənşəli komponentlər olan fenol və sulfonolun modifikasiya olunmuş seolitlərdə və sintetik sorbentlərdə kinetika və statikasının sisteməlik qanunauyğunluqları tədqiq edilmişdir.

2. Müəyyən edilmişdir ki, yuxarıda göstərilən ionların məhlullardan onların qatılıqlarının yüksək və aşağı qiymətlərində  $\text{H}$  və  $\text{Na}$ -formalı modifikasiya olunmuş təbii klinoptilolit və mordenitdə kinetika qarıışıq-diffuzion xüsusiyyətlərə malikdir, ammonyaklı komplekslərinin isə xarici diffuziya hesabına yaranmış sorbsion tutum hissələri  $t \ll t_\infty$  olduğu vəziyyətdə sadə ionlarla müqayisədə daha böyükdür., lakin bu zaman fenol və sulfonol üçün kinetik şəraitdə başlıca rol əsasən daxili diffuziyaya məxsusdur.

3. İon-mübadilə tarazlığının ( $K_{\text{termod}}$ ) həm eyni valentli ( $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Ag}^+$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ag}^+$ ), həm də müxtəlif valentli ionlar üçün ( $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Ni}[(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ni}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ni}[(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Co}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Co}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Zn}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Zn}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Hg}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow \text{Cd}^{2+}$ ;  $\text{N}^+ \Leftrightarrow [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Cd}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+ \Leftrightarrow [\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ )  $\text{H}$  və  $\text{Na}$ -formalı klinoptilolit və mordenitdə dəqiq qiymətləri hesablanmışdır ki, bu qiymətlər də ionların qatılıqlarının təsiri üsullarından asılı deyil. Bu həmçinin məhlullardan və tullantılardan sintetik seolitlərdən olan  $\text{Na}_x$  və  $\text{NaU}$ , fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və adi AB-17-OH anionitində üzvi komponentlər olan fenolun, sulfonolun adsorbsiya tarazlığı sabitinin təyini zamanı da öz təsdiqini tapır.

4.  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}[(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  i  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  ionlarının  $\text{Na}$ -klinoptilolit və  $\text{Na}$ -mordenitdə ion-mübadilə prosesi üçün hesablanmış bir sıra termodinamik parametrlərinin qiymətləri göstərir ki, ammonyaklı kompleks ionların mübadilə

prosesində fəallaşması üçün böyük enerji ( $E_a$ ) tələb olunur, bu da sadə ionlarla müqayisədə kompleks ionların daha az mütəhərrikiyə malik olması ilə izah olunur, sürət və selektivlik nə qədər böyükdürsə, sərbəst enerji də daha maksimal olmalıdır, belə ki, bizim apardığımız işdə bu öz təsdiqini tapır. Fenol və sulfonolun fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömürü və sintetik anionit olan AB-17-OH-da hesablanmış termodinamik parametrlərinin qiyməti sübut edir ki, sərbəst enerji ( $\Delta G^0$ ) bütün hallarda səthin dolma dərəcəsinin artması ilə azalır, fenolun hər iki sorbentdəki sorbsiyası timsalında KAD-yodlu və AB-17-OH sorbentlərinin dolma dərəcələri yüksəlir, sulfonolda isə bu hal temperaturun artması ilə müşayiət olunur, bu zaman entropiyanın ( $\Delta S^0$ ) qiyməti aşağı düşür.

5. Tədqiq olunan təbii seolitlərin başqa ion formaları ilə müqayisədə kinetik və statik təcrübələrin nəticələrinə əsasən Na-klinoptilolit məhlullardan ağır və keçid elementlərinin ionlarına qarşı yüksək sorbsiya fəallığı göstərdiyi üçün məhlullardan və tullantılardan göstərilən ionların dinamiki qanunauyğunluqlarının tədqiqi üçün istifadə olunmuşdur.

6. Göstərilmişdir ki, M.M. Senyavin və onun əməkdaşlarının apardığı tədqiqat işlərində istifadə olunmuş nəzəri tənliklər və hesablama formulaları qarışıq-diffuzion oblastda xətti izoterm halında istifadə olunmuşdur və bu istifadə qaydası bizim öyrəndiyimiz keçid və ağır metal ionlarının, həmçinin onların bəzilərinin ammonyaklı kompleks formalarının məhlullarından göstərilən ionların aşağı qatılıqlarında Na-klinoptilolitdə ion-mübadilə proseslərinin dinamikası üçün tamamilə münasibdir.

7. Müəyyən edilmişdir ki, V.V. Raçinski tərəfindən alınmış çıxım əyriləri və dinamiki sorbsiyanın stasionar cəbhəsi üçün çıxım əyrisi alınarkən cəbhənin eninin hesablanması formulalarının Lenqmyür tipli qabarıq izoterm ilə təsvir olunması fenol və sulfonolun məhlullardan KAD-yodlu və AB-17-OH-da qabarıq izoterm halında dinamiki parametrlərinin hesablanması üçün istifadə oluna bilər.

8. Nikel və kobalt ionlarının, həmçinin kadmium və sink ionlarının sadə və ammonyaklı kompleks halında qarışıqlarının müxtəlif nisbətlərdə kompleksəmələgətiricilərin iştirakilə xromatoqrafik ayrılma üsulları hazırlanmışdır.

Monoetanolaminin 0,25M qatılıqda məhlulunu yuyucu məhlul qismində götürməklə seolit kolonkalarından kadmium və sink ionlarının tam yuyulması üçün məhlulun minimal itkisinə nail olmaq mümkün olmuşdur (müvafiq olaraq ~55,0 və 35,0 mmol)

9. Ağır metal ionlarının və üzvi komponentlərdən olan fenol və sulfonolun real maye tullantılarından sorbsiya üsulu ilə çıxarılması və qatılaştırılması üçün nəzəri və təcrübi baza hazırlanmışdır.

10.  $\text{Ag}^+$  ionlarının fotomaterialların təmizlənməsindən ayrılan tullantıların elektrolitik emalından sonrakı (Respublika Telestudiyasının tullatıları nümunəsində) tullantısından,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $[\text{Ni}(\text{NN}_3)_6]^{2+}$ ,  $\text{So}^{2+}$ ,  $[\text{So}(\text{NN}_3)_6]^{2+}$  ionlarının dağ süxuru olan serpentenin kompleks emalından ayrılan maye tullantıdan,  $\text{Sd}^{2+}$ ,  $[\text{Sd}(\text{NN}_3)_4]^{2+}$  ionlarının Azərbaycanın Filizçay yataqlarından olan polimetallik sulfid filizinin sink konsentratından,  $\text{Ng}^{2+}$  ionlarının xlor və kaustik soda istehsal edən sənaye sahəsinin tullantı sularından Na və aminləşmiş formalı klinoptilolitdə ayrılması və qatılaştırılması həyata keçirilmişdir.

11. Üzvi mənşəli komponentlərdən olan fenolun Yeni Bakı Neftayırma Zavodunun katalitik və termiki krekinq qurğusunun ləngidilmiş koklaşdırma sahəsinin və Bakı sənaye Birliyinin dəri zavodunun Qırmızıpalıd korpusunun, həmçinin sulfonolun «Ximprom» sənaye birliyinin tullantı sularından sintetik anionit olan AB-17-OH və fəallaşdırılmış KAD-yodlu kömüründə ayrılması və qatılaştırılması işlənilib hazırlanmışdır.

12. Məhlullarda ağır və keçid metal ionlarının sorbsion təmizlənmə proseslərinin optimallaşdırılmasını həyata keçirmək üçün nəzəri və eksperimental baza hazırlanmışdır.

**Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı dərc olunmuş materiallarda verilmişdir:**

1. Махмудов Ф.Т., Рустамов С.М. О сверхэквивалентной сорбции  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  ионов на цеолитах. / Тез. Докл. ВВЫ Закавказской конф. по адсорбции и хроматографии. Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1986, с.19.

2. Махмудов Ф.Т., Рустамов С.М. Ионнообменное концентрирование серебра и никеля из отходов на На-клиноптилолите. /Тез. Докл. X Всесоюзного семинара «Химия и технология неорганических сорбентов», Душанбе, 1986, с.199.
3. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Концентрирование ионов серебра и никеля из отходов на На-клиноптилолите. //Журн. Прикл. Химии, 1988, Т.61, №1, с.34-37.
4. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Регенерация цеолитовых колонн, насыщенных ионами  $\text{Ag}^+$  и  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  из растворов. // Докл.АН Азерб.ССР, 1988, Т. ХЛЫВ, №1, с. 39-41.
5. Махмудов Ф.Т. Закономерности сорбции ионов кобальта на модифицированных природных цеолитах. / Мат. ЫЫЫ Респ. Конф. Молодых ученых-химиков, посвящ.80-летию акад. М.Ф. Нагиева, Изд. «Элм», Баку, 1988, с.58.
6. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Хроматографические материалы на основе природных цеолитов для разделения ионов ЦЗЭ, никеля и кобальта. /Тез. Докл. Всесоюзной конф. по прикладной хроматографии, Киев-Москва, 1988, с. 59.
7. Рустамов С.М., Ягубов А.И., Махмудов Ф.Т., Баширова З.З., Мурадова С.А., Алиева Т.А. Природные цеолиты в процессах очистки производственных сточных вод. / ХЫВ Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, рефераты докладов и сообщений, №2, Изд. «Наука», М, 1989, с.446.
8. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Закономерности динамики обмена ионов серебра и никеля из разбавленных растворов на На-клиноптилолите. // Моделирование и оптимизация химических процессов. Изд. «Элм», Баку, Т.7, 1990, с.112-124.
9. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Разработка сорбционных методов очистки сточных вод от ионов хрома и никеля. / Исследование в области разработки научных основ использования вторичных материальных ресурсов химической, нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. «Элм», Баку, 1990, с.52.
10. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т., Ягубов А.И., Баширова З.З., Мурадова С.А. Адсорбционная очистка производственных вод от токсичных органических и минеральных компонентов цеолитами. / Адсорбционные процессы в ре-

шении проблем защиты окружающей среды. Тез. Докл. Симпозиума, Рига, Изд. «Зинатне», Латвия АН, 1991, с.60-64.

11. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т., Баширова З.З., Зейналова И.И. Концентрирование ионов цветных металлов из производственных жидких отходов на клиноптилолите. // Химия и технология воды, 1991, Т.13. №9, с.851-853.

12. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Хроматографическое разделение ионов на цеолитах. Ы. Разделение ионов никеля и кобальта. / Моделирование и оптимизация химических процессов. Баку, Изд. «Элм», 1991, Т.8, с.151-159.

13. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Хроматографическое разделение ионов на цеолитах. ЫЫ. Разделение ионов цинка и кадмия. /Моделирование и оптимизация химических процессов, Баку, Изд.»Элм», 1991, Т.8, с. 160-166.

14. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Адсорбционная очистка производственных стоков от фенола на анионите АВ-17-ОН. /Тез. Докл. ВЬЫ Всесоюзной конф. «Применение ионообменных материалов в промышленности и аналитической химии», Воронеж, Изд. Вор. ГУ, 1991, с.103-104.

15. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т., Баширова З.З. Ионообменная очистка промышленных сточных вод от ртути. // Химия и технология воды, 1993, Т.15, №5, с.378-382.

16. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т., Баширова З.З. Сорбционная очистка производственных жидких отходов от ионов ртути. / Тез. Докл. XV Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Минск, Изд. «Щавйка и техника», 1993, Т.3, с. 140-141.

17. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т., Баширова З.З. Локальная сорбционная очистка производственных сточных вод от фенола. //Химия и технология воды, 1994, Т.16, №1, с.69-72.

18. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т., Зейналова И.И., Махмудова Н.Г. Адсорбционная очистка производственных сточных вод от токсичных органических и минеральных компонентов. /Тез. Мат-ов Ы Международной научно-технической конф., Баку, 1994, с. 146-147.

19. Rustamov S. M.Yaqubov A.I. Makhmudov F.T., Zeynalova I.I. Natural zeolites in the orocess of purification of sewage from toxic inorganic components.

/ Abstracts. Inter simposium on natural zeolites "Natural zeolites-97", Gurjaani, Georgia 24-26 september, 1997, P. 53-54.

20. Ибрагимов Ч.Ш., Рустамов С.М., Махмудова Н.Г., Махмудов Ф.Т. использование Na-формы цеолитов клиноптилолита и морденита для извлечения ионов никеля, меди и серебра из растворов /Синтез, модифицирование и адсорбционные свойства цеолитов и цеолитоподобных молекулярных сит. Мат. БЫ семинара, Санкт-Петербург, 13-15 октября, 1998, с.52.

21. Рустамов С.М., Ягубов А.И., Махмудов Ф.Т., Зейналова И.И. Сорбционная очистка жидких производственных отходов от токсичных неорганических и органических компонентов цеолитами. /Мат. БЫ семинара, Санкт-Петербург, 13-15 октября, 1998, с.54-55.

22. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Ионообменное извлечение кадмия из производственных жидких отходов на цеолитах. /Кимья-биолоэийа елмляри вя тящсилинин актуал проблемляри цзря республика елми конфрансынын материаллары, 5-7 ноябр, 2001, АДПУ-80, Багы-2001, «Адилюлу» няшриййаты, с.212-216.

23. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Ионообменное извлечение ртути и кадмия из производственных жидких отходов на цеолитах. /Су: проблемляр, ахтарышлар» елми-практики конф.-нын материаллары, Багы, 25-26 октябрь 2001, с. 145-147.

24. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Ионообменное извлечение ртути и кадмия из производственных жидких отходов на цеолитах. /Азырб. МЕА мцхбир цзви Х.С. Мяммядовун 75 иллик йубилейиня щяср олунмуш конфрнс материаллары, Багы, «Елм», 5-7 ноябр 2001, с.113-118.

25. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Исследование равновесия (статика) сорбции ртути и кадмия из растворов на модифицированных природных цеолитах. // Азерб. Хим. Журн., 2002, №4, с.53-57.

26. Rustamov S. M., Zeynalova I.I., Makhmudov F.T., Bayramov A.M. Ion-exchange removal of mercury and cadmium from production liquid wastes on zeolites. / Bildiri юзетлери. Абстрактс. Езе Физико-кимья Эцнлери, 5-7 щазиран (Йуне), 2002, Борнова-Измир, Тцркийе, П.45-46.

27. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Цеолиты в процессах очистки жидких производственных отходов от анионогенных ПАВ / В Бакинская Межд. Мамедалиевская нефтехимическая конференция Тезис докладов, Баку, 2002, с.320.

28. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Температурная зависимость процесса сорбции ионов ртути и кадмия из растворов на модифицированных природных цеолитах. //Азерб. Хим. Журн. 2003, №1, с.51-54.

29. Махмудов Ф.Т., Зейналова И.И. Термодинамика обмена ионов ряда переходных элементов на модифицированных природных цеолитах. //Азерб. хим. журн., 2003, №4, с.177-180.

30. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Закономерности динамики сорбции ионов ртути и кадмия из растворов на твердых сорбентах. / Акад. М.Ф. Набийевин 95 иллик йубилейиня щяср олунмуш елми конфрансын тезисляри, Баку, сентябр, 2003, с.37-38.

31. Мащмудов Ф.Т. Сулфонолун мящлуллардан бярк сорбентляр цзяриндя сорбсийанын тядгиги. /Акад. М.Ф. Набийевин 95 иллик йубилейиня щяср олунмуш елми конфрансын тезисляри, Баку, сентябр, 2003, с.110.

32. Мащмудов Ф.Т. Тябии сеолитляр вя онларын халг тсяррцфатында тятбиги. // Монографийа, Баку, Елм, 2003, 88с.

33. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Закономерности кинетики сорбции ионов ртути и кадмия из растворов на твердых сорбентах / Азэрб. мцхбир цзвц З.Щ.Зцлфцгаровун 90 иллик йубилейиня щяср олунмуш елми конфрансын материалларф, 2004, с.54.

34. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Динамика сорбции ионов ртути и кадмия из растворов, моделирующих состав производственных жидких отходов, на цеолитах. //Азерб. хим. журн., 2004, №3, с.38-44.

35. Рустамов С.М., Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Кинетика сорбции ионов ртути и кадмия из растворов на модифицированных природных цеолитах. // Азерб. хим. журн., 2004, №4, с.42-46.

36. Махмудов Ф.Т. Адсорбционная очистка промышленных жидких отходов от сульфанола деалюминированными цеолитами. // Хим. проблемы, 2005, №2, с.161-163.

37. Махмудов Ф.Т. Исследование равновесия обмена ионов некоторых переходных и тяжелых металлов на модифицированных природных цеолитах. //Азерб. хим. журн., 2005, №3, с.170-175.

38. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Сорбционная очистка производственных сточных вод от алкилбензолсульфонатов (анионных ПАВ) модифицированными цеолитами. //Азерб. хим. журн., 2005, №4, с.78-83.

39. Махмудов Ф.Т. Закономерности кинетики сорбции ионов некоторых переходных и тяжелых элементов на На-клиноптилолите в зависимости от концентрации раствора. //Азерб. Хим. Журн., 2005, №4, с.123-127.

40. Махмудов Ф.Т. Адсорбционная очистка промышленных жидких отходов от сульфонола диалюминированными цеолитам. // Журн. Хим. Проблем, 2005, №2, с.161-163.

41. Махмудов Ф.Т. Теоретические предпосылки сорбционного равновесия компонентов из растворов. // Хим. проблемы, 2005, №4, с. 153-155.

42. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Динамика сорбции алкилбензолсульфонатов из растворов на твердых сорбентах. //Азерб. хим. журн., 2006, №1, с.77-80.

43. Махмудов Ф.Т. Кинетика и равновесие сорбции фенола на промышленных сорбентах АВ-17-ОН и КАД-йодный // Азерб. хим. журн., 2006, №1, с.120-123.

44. Зейналова И.И., Махмудов Ф.Т. Сорбционная очистка жидких отходов от ионов ртути на модифицированном клиноптилолите. / Мат. научной конф. посв. юбилею чл. корр. акад. Наук Азерб. Г.Х. Эфендиева, Баку, 2007, с.102-103.

45. Рустамов С.М., Махмудов Ф.Т. Деалюминированные цеолиты в процессах сорбционной очистки производственных жидких отходов от алкилбензолсульфонатов. //Журн. Прикл. Химии, 2008, Т.81, вып.1, с.50-55.

46. Мащмудов Ф.Т., Зейналова И.И., Мурадова Н.М. Фенол в сульфано-лун реэенерасийасынын оптимал хцсусийятляри / Акад. Щ.Ялийевин 105 иллик йубилейиня щяср олунмуш ЫЫ Бейнялхалг конфрансын материаллары, Баку, 2012, с. 82.

47. Makmudov F.T., Zeynalova I.I., Muradova N.M. Concentration above a certain transition metals from liquid waste Na-clinoptilite / European Applied Sciences, 2013, No 7, p. 95-97.



48. Махмудов Ф.Т., Зейналова И.И., Аббасов М.А., Рагимли М.А. Адсорбция фенола из водных растворов на деалюминированных, аминированных и кремнеорганических образцов цеолитов / Материалы научной конференции, посвященной 105-летию акад. М.Ф.Нагиева, I том, Баку, 2013, с. 98-99.

Махмудов Фахраддин Теймур оглы

Комплексное исследование сорбционных методов извлечения и концентрирования компонентов неорганической и органической природы из растворов

Резюме

Диссертационная работа посвящена сорбции ионов тяжелых и переходных элементов неорганического происхождения серебра, никеля, меди, цинка, кобальта, кадмия, ртути и компонентов органического происхождения фенола и сульфонола из водных растворов поэтапное изучение закономерности кинетики, статики, динамики и регенерации. Для этой цели были использованы модифицированные природный клиноптилолит и морденит, огромные запасы которых имеются в нашей Республике. Кроме того, также были использованы синтетические цеолиты, ионообменные материалы и активированные угли.

Учитывая тот факт, что истощаются запасы природных соединений ценных металлов таких как Ag, Ni, Zn, Co, Cd, Hg выделение их отходов и возвращение в промышленность в виде цветных металлов своевременно и актуально. Решение этой задачи может послужить сохранению гармонии между природой и производством.

Результаты кинетических, статических и динамических экспериментов были использованы при расчете некоторых параметров эмпирическими и полуэмпирическими формулами. Данные этих расчетов были использованы при разработке условий выделения соответствующих неорганических и органических соединений из производственных сточных вод различной природы.

Так, было проведено концентрирование ионов серебра из сточных вод фотографического отдела республиканской телестудии, ионов никеля и кобальта из отходов переработки серпентенита, ионов кадмия из отходов переработки филизчайского мсинерального сырья, ионов ртути из сточных вод Сумгаитских предприятий по производству хлора и каустической соды и возвращение этих соединений вновь в производство.

Выделение и концентрирование фенола из отходов Ново-Бакинского Нефтеперерабатывающего и кожевенного заводов, а сульфонола из отходов производственного объедине-

ния «Химпром» было проведено на анионите АВ-17-ОН и активированных углях КАД-йодный.

Mahmudov Fakhraddin Teymur

Complex research of sorption methods of concentration and extraction of inorganic and organic components from solutions

Summary

The thesis was devoted to study of kinetics, statics, dynamics and regeneration regularities of ion-exchange and adsorption processes of inorganic heavy and transition elements silver, nickel, copper, zinc, cobalt, cadmium, mercury ions, organic type components phenol and sulphonol from solutions. In our republic together with modified forms of clinoptilolite and mordenite zeolites, synthetic zeolites, industrial ion-exchange resins and different activated coals were used.

If consider the used natural resources of inorganic components gradually exhaust, the use of such non-ferrous metals in production is the important problem in chemistry. This also serves to protection of ecological harmony between nature and production.

Kinetic, static and dynamic results were researched in calculation of different parameters by empirical and polyempirical formula in corresponding concentrations and the obtained results were applied in extraction and concentration of inorganic and organic components.

The extraction and concentration of mercury ions Sumgait chlorine and caustic sodium enterprise wastes, cadmium ions from Filizchay mineral waste, nickel and cobalt ions from serpentinite mineral waste, silver ions from photo waste waters of TV studio of our republic are important results in application of such inorganic components. These results were carried out by natural clinoptilolite, modified by  $\text{Na}^+$  and aminated ions.

This is a great method for substituting expensive non-natural sorbents.

Phenol and sulphonol were extracted and concentrated on KAD and synthetic resin AB-17-OH from wastes of Neft Baku Oil-refining Plant and tannery.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**  
**БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

*На правах рукописи*

**МАХМУДОВ ФАХРАДДИН ТЕЙМУР оглы**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ  
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ИЗ РАСТВОРОВ**

*2307.01. – Физическая химия*

**АВТОРЕФЕРАТ**

*На соискание ученой степени доктора химических наук*

## **БАКУ-2014**