

**.AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI**  
**AKADEMİK M.NAĞIYEV adına KATALİZ VƏ QEYRİ-ÜZVİ**  
**KİMYA İNSTİTUTU**

*Əlyazma hüququnda*

**ŞAHAB ALLAHQULU OĞLU NASSERİ**

**SƏNAYE TULLANTI SULARINDAN MİS (II) VƏ SİNK**  
**İONLARININ SORBSİON ÇIXARILMA TEXNOLOGİYASI**

**İxtisas:** 3303.01 – “Kimya texnologiyası və mühəndisliyi”

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

**B A K I - 2 0 1 6**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbərlər:** Kimya üzrə elmlər doktoru  
Ə.İ.Yaqubov

Kimya üzrə elmlər doktoru, ful prof.  
Ə.Ə.Aləmi

**Elmi məsləhətçi:** AMEA-nın müxbir üzvü, k.ü.e.d.,prof.  
Ə.N.Nuriyev

**Rəsmi opponentlər:** Kimya üzrə elmlər doktoru, professor  
E.İ.Əhmədov

Texnika üzrə elmlər doktoru  
F.M.Sadıxov

**Aparıcı təşkilat:** AMEA-nın akad. Ə.M.Quliyev adına Aşqarlar Kimyası İnstitutu (“Aşqarların texnologiyası” laboratoriyası)

Dissertasiya işinin müdafiəsi “\_24\_” iyun 2016-cı il tarixində saat \_\_\_ da AMEA-nın akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D 01.021 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

**Ünvan:** Az 1143, Bakı şəhəri, H.Cavid prospekti, 113.  
e-mail: [kqki@kqki.science.az](mailto:kqki@kqki.science.az)

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan MEA-nın akad. M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “\_” \_\_\_\_\_ 2016-cı il tarixində göndərilmişdir.

**D 01.021 Dissertasiya Şurasının elmi katibi,**  
kimya üzrə fəlsəfə doktoru, b.e.i.

**S.A.Əliyeva**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı:** Müasir elm və texnikanın inkişaf perspektivləri təbii mineral yataqlarından daha səmərəli şəkildə istifadə etməyə imkan yaradır. Dünyada mövcud olan gil yataqlarından müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilir. Bentonit vasitəsilə ağır metal ionlarının tullantı sularından çıxarılması ilə əlaqədar tədqiqatların aparılmasına baxmayaraq təbii bentonit bu ionlara qarşı nisbətən zəif adsorbsiya qabiliyyətinə malikdir. Ağır metal kationlarının tullantı sularından adsorbsiya üsulu ilə çıxarılmasının yaxşılaşdırılması üçün bentonitin tədqiqinə hələ də böyük ehtiyac vardır. Qlobal sənaye fəaliyyətinin sürətlə artması ilə əlaqədar olaraq tullantı sularının ağır metal ionlarının toksiki və bioloji parçalana bilməyən xüsusiyyətləri, onların təbii və tullantı sularının tərkibinə daxil olması ətraf mühit və səhiyyə sahəsinin mühim problemlərinə çevrilmişdir. Belə ki, mis, sink, cıvə, kadmium, nikel, xrom və kobalt kimi metal ionları təhlükəli ağır metal çirkləndiriciləri hesab edilən və adətən tullantı sularında tapılan çox zərərli elementlərdir. Bu fakt qeyd olunan metal ionlarının tullantı sularından çıxarılmasının zəruriliyini sübut edir.

Bəzi fermentlərin ağır metal ionları tərəfindən ingibə olunması səbəbindən orqanizmlərin əksəriyyəti üçün qadağan olunmuş qatılıqlar səviyyəsində belə komponentlər toksiki hesab olunurlar. Məs: Cu, Zn, Pb, Co, Cd tərkibli birləşmələr dağ-mədən, metallurgiya, boyalar, piqment və elektronika kimi bir çox sənaye sahələrində geniş istifadə olunur. Cu, Zn birləşmələri həmçinin elektrik stansiyalarının tullantı sularının tərkibində mövcuddur. Sinkin tullantı sularına buraxılmağa icazə verilən qatılıq həddi 0,04 mq/l-dir. İnsanlarda sink zəhərlənməsi ciddi sağlamlıq problemlərinə - allergiya, ürək zədələnməsi, ürək çatışmamazlığı, qara ciyər serrozuna və hüceyrələrin mutasiyaya uğramasına səbəb ola bilər.

Aktivləşdirilmiş kömür, əsasən yüksək səth sahəsini təmin edən məsaməli sorbsiya strukturuna malik olduğuna görə adsorbsiya prosesində geniş istifadə olunur. Aktivləşdirilmiş kömürdən istifadə olunması oxşar xüsusiyyətlərə malik yeni adsorbentlərin istehsalına gətirib çıxarmışdır. Digər tərəfdən tullantı sularından aktivləşdirilmiş kömür hissəcikləri vasitəsilə ağır metal ionlarının çıxarılması mürəkkəb proses ola bilər. Bu baxımdan yüksək səmərəli və iqtisadi cəhətdən əlverişli adsorbentlərin tədqiq edilməsi üçün alternativ sorbentlərin araşdırılması və tətbiqinə ehtiyac vardır.

Daha ucuz adsorbentlərə isə təbiətdə ehtiyatları zəngin olan və ya digər sənaye sahələrində külli miqdarda tullantı kimi əmələ gələn tullantı materialları misal ola bilər. Bununla yanaşı adsorbsiya üsulu ilə mövcud olan çirkəndiricilərin aradan qaldırılması üçün adsorbentlərin seçilməsi əsas meyarlardan biridir. Bu baxımdan səmərəli və ucuz, həm də təbii minerallarla tədqiqatlar aparmaq daha əlverişlidir. Bu məqsədlə montmorillonit kimi gil mineral adsorbsiya prosesi üçün adsorbent kimi istifadə edilə bilər ki, bu da kation mübadiləsi və ion-mübadilə adsorbsiya qabiliyyəti ilə xarakterizə olunan minerallar şəkilində tapılır. Bentonit isə tərkibində daha çox montmorillonit olan gil mineralıdır. Ona görə də mis və sink ionlarının tullantı sularından bentonit vasitəsilə çıxarılmasının araşdırılması və tətbiqi çox mühüm, aktual, elmi, praktiki əhəmiyyəti olan məsələlərdən biridir.

Dissertasiya işi AMEA-nın akademik F. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya institutunda aparılan elmi tədqiqat işinin planına uyğun olaraq yerinə yetirilmişdir. N:01106AZ006AZ00419

**İşin məqsədi.** Bentonit əsasında modifikasiya olunmuş sorbentlərin alınması fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi,  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının model məhlullardan və filiz emalı tullantı sularından çıxarılması qanunauyğunluqlarının tədqiqi və tətbiqindən ibarətdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuş və həll edilmişdir.

- Təbii bentonitin ion mübadilə üsulu ilə modifikasiya olunmuş  $\text{Na}^+$  kation formalarının alınması
- Modifikasiya olunmuş bentonit nümunələrinin xarakterik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi
- Mis və sink ionlarının müxtəlif qatılıqlı məhlullardan, mühitin temperaturundan asılı olaraq kinetikasi və termodinamik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi:
- Mis və sink ionlarının bentonitdə desorbsiyasının optimal parametrlərinin seçilməsi;
- Sink ionlarının modifikasiya olunmuş nanobentonitdə adsorbsiyasının kinetik və termodinamik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi;
- Sulu məhlullardan  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Cu}^{2+}$  metal ionlarının çıxarılması üçün termiki, texnoloji riyazi modelin işlənilib hazırlanması;

**İşin elmi yeniliyi.** İlk dəfə olaraq modifikasiya olunmuş Na-bentonitdə model məhlullardan sistemli olaraq mis və sink ionlarının sorbsiyasının kinetikasi və termodinamik qanunauyğunluqları öyrənilmişdir.

İlk dəfə olaraq Cu(II) və Zn ionlarına qarşı modifikasiya olunmuş yüksək sorbsion seçiciliyə malik sorbent hazırlanmış və prosesin riyazi modeli işlənib hazırlanmışdır..

**İşin praktiki əhəmiyyəti:** Model məhlullardan və filiz emalı tullantı sularından Cu(II)və Zn(II) ionlarının bentonit əsaslı modifikasiya olunmuş sorbentlərdə (Na və Ca-bentonitdə) sorbsiyası nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, istifadə olunan sorbentlər bu ionlara qarşı yüksək sorbsiya tutumuna(324 mq/q) malikdirlər. Na-bentonit filiz emalı tullantı sularından Cu(II) və Zn(II) ionlarının çıxarılması üçün bahalı aktivləşdirilmiş kömür və sintetik ion mübadilə materialları əvəzinə yüksək effektiv sorbent kimi istifadə oluna bilər. Na-formalı nanobentonit sink ionlarına qarşı digər analoqlarına nisbətən daha yüksək sorbsiya tutumuna malikdir. Bu səbəbdən Na-bentonit  $Zn^{2+}$  və  $Cu^{2+}$  ionlarının tullantı sularından çıxarılması üçün yeni perspektiv nanokompozit materialı kimi istifadə oluna bilər. Həmçinin  $Zn^{2+}$  və  $Cu^{2+}$  ionlarının desorbsiyasının optimal şəraiti işlənib hazırlanmışdır.

Bentonit əsasında təmizləmə qurğusunun sxemi hazırlanmış və sənaye miqyasında qonşu İran İslam Respublikasında sınaqdan keçirilmişdir.

**İşin etibarlılığı:** Təcrübi tədqiqatların etibarlılığına söykənən müdafiəyə çıxarılan elmi müddəalar məlum fiziki-kimyəvi analiz metodlarına əsaslanır. Tədqiqatın gedişində rentgenoqrafik, derivatoqrafik, İQ-spektroskopik, elektronmikroskopik və enerqodispersion analiz metodlarından istifadə olunmuşdur.

$Zn^{2+}$  və  $Cu^{2+}$  ionlarının filiz emalı tullantı sularından çıxarılması məqsədilə texniki, texnoloji və riyazi modelləşmə tədqiqat üsullarından istifadə edilmişdir.

**Müəllifin şəxsi iştirakı:** Məsələlərin qoyuluşu, əsas ideyalar və tədqiqatların istiqaməti, təcrübələrin qoyulması, nəticələrin interpretasiyası və onların əldə olunması daxil olmaqla işlərin yerinə yetirilməsində əsas rol müəllifə məxsusdur.

**Nəşr və işlərin apropasiyası:** Dissertasiya mövzusu üzrə 10 elmi əsər, o cümlədən 6 məqalə, 4 tezis nəşr olunmuşdur.

Kordinasion birləşmələr kimyası. V Respublika Elmi Konfransın materialları (Bakı – 2012) H. Əliyevin anadan olmasının 105 illiyinə həsr olunmuş konfransın materialları, BDU (Bakı – 2012). Azərbaycan xalqının Ümummilli lideri H. Əliyevin anadan olmasının 90-cı və 93-cü il dönmünə həsr olunmuş “Beynəlxalq kimya və kimya mühəndisliyi”konfransının materialları (Bakı – 2013, 2016)

Materialy Miegryanarodowey naukov-praktycrey konferencii, Dynamika-naukowych,,(Badan– 2014)

**İşin quruluşu və həcmi:** Dissertasiya işi 171 səhifə həcmindədir. O, girişdən, 4 fəsildən, əsas nəticələrdən, 227 adda ədəbiyyat siyahısından, 44 şəkil və 26 cədvəldən ibarətdir.

**İşin əsas məzmunu** Dissertasiyanın giriş hissəsində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi həll olunacaq məsələlər, elmi yeniliklər, işin praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas məsələlər öz əksini tapmışdır.

Birinci fəsildə təbii və tullantı sularının qeyri-üzvi və üzvi maddələrlə çirklənməsi, onların təmizlənməsində istifadə olunan sorbentlərin fiziki-kimyəvi, xarakteristikasına dair ədəbiyyat məlumatlarının şərh verilmişdir. Bu fəsildə həmçinin suların qeyri-üzvi və üzvi komponentlərdən təmizlənməsi metodlarının müqayisəli analizi, onlar arasındakı mövcud fərqliliklər öz əksini tapmışdır.

II fəsildə elmi tədqiqatların nəticələri, təbii bentonit və onun modifikasiya olunmuş formalarının alınması, onların fiziki-kimyəvi xarakteristikaları öyrənilmiş və onlara müxtəlif amillərin təsiri müəyyənləşdirilmişdir. Burada eləcə də Cu(II) və Zn ionlarının təyini metodikası işlənib hazırlanmışdır. Təcrübi tədqiqatlara əsasən müəyyən edilmişdir ki, ən yüksək şişmə xüsusiyyətlərinə Na-formalı, ən kiçik şişməyə isə Cu(II) və Zn-formalı bentonit nümunələridir. Tədqiqatın nəticəsi zamanı müəyyənləşdirilmişdir ki, bentonitin şişmə xüsusiyyətləri dispersliklə bağlıdır. Şişmə dərəcəsi isə özlüklə düz mütənəsibdir. Təcrübi nəticələrin analizində müasir fiziki-kimyəvi metodlardan – EM, İQ, DTA, RDA, DA istifadə olunmuşdur.

III fəsildə təcrübi nəticələrin şərh və analizi verilmişdir. Burada mis(II) və sink ionlarının tullantı suyu tərkibli model məhlullardan sorbsiyasının qanunauyğunluqlarının öyrənilməsindən, sorbsiya prosesinin kinetikasi və termodinamikasından, həmin ionların desorbsiyasının optimal şəraitinin işlənib hazırlanmasından bəhs edilir.

Sorbsiya prosesinin psevdəqaynar sorbent təbəqəsində getməsi bir sıra əhəmiyyətli dərəcədə üstünlüklər yaradır: sorbsiya qeyri-mütəhərrik təbəqə ilə müqayisədə kifayət qədər intensiv gedir: suyun sorbent təbəqəsindən axını kiçik hidrodinamik müqavimətlə qarşılaşır; tərkibində müəyyən qədər asılı hissəcikləri olan suyun istifadəsi mümkündür, belə ki, bu halda sorbentin çirklənmədən və qabarcıq hava qovucuqlarından öz-özünə təmizlənmə prosesi baş verir; böyük enerjiddən istifadə olunmadan sorbsiya qurğularının istifadə imkanları 1-2 metr ölçüdə minimal axının yüksək

səviyyəli qabarmadan modelləşdirilmiş tullantı suyunun təbii yerdəyişməsi hesabına mümkündür.

Bu metodun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, sorbentin itkisi və sorbsiya olunmuş  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının hissəciklərdən təbəqədə sürtünməsi hesabına onların hərəkət zamanı gözləmə müddətində itkisi baş verir, həmçinin nisbətən böyük sıxlıqda ( $1,5 \text{ q/sm}^3$ -dən çox) sorbentin istifadəsi zəruridir. Psevdoqaynar təbəqədə bununla əlaqədar olaraq yalnız kifayət qədər ağır və mexaniki davamlı sorbentlər istifadə oluna bilər. Bu məqsədlə sıxlığı  $2,22 \text{ q/sm}^3$ -ə bərabər olan termoemal olunmuş Na-bentonitdən tamamilə istifadə etmək mümkündür.

Bu metodun bütün üstünlüklərini və Na-bentonitin xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, tullantı sularından  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının çıxarılması üçün biz göstərilən sorbentin psevdoqaynar təbəqəsində sorbsiya metodlarına əsaslanmışdır.

$\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının tullantı sularından çıxarılması üçün sorbentin psevdoqaynar təbəqəsində model sorbsion qurğusu istifadə olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, Na-bentonitin xassəsini öyrənərkən onun aşağıdakı fiziki-mexaniki xassələrə malik olması müəyyən edilmişdir: mexaniki davamlı, genişlənmiş xüsusi səthə malikdir. Na-bentonitdə  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Fe}^{3+}$  ionlarının kinetikasi və termodinamikasının birlikdə öyrənilməsinin nəticələri göstərmişdir ki,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  və digər mikro elementlərin kompleks şəkildə çıxarılması üçün bu sorbent perspektivliyə malikdir. Na-bentonit vasitəsilə sorbsiya olunmuş  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Fe}^{3+}$  ionlarının miqdarını təyin etmək üçün eksperiment başlandıqdan 60 dəqiqə sonra kolonkalardan işlənmiş sorbent nümunələri götürülmüşdür. Göstərilən ionların miqdarı atom-adsorbsiya metodu ilə təyin olunmuşdur. Təyin olunmanın nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

**Cədvəl 1.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Fe}^{3+}$ -in sorbent nümunələrində təyininin nəticələri, mq/q sorbentin dənəvərliyi ~ 0,2 mm, suyun sərfi 0,2 l/mm**

Ionlar	Sorbsiyanın davametmə müddəti, saat						
	10	20	30	40	50	60	70
$\text{Cu}^{2+}$	32,8	59,3	81,02	94,6	104	120,0	135,0
$\text{Zn}^{2+}$	76,8	101,3	124,0	146,0	178	216,0	324,0
$\text{Fe}^{3+}$	4,9	11,5	17,8	42,1	38,7	48,0	60,2

Adsorbsiya prosesi üçün termodinamik parametrlər  $\Delta H\left(\frac{kJ}{mol}\right)$ ,  $\Delta S\left(\frac{J}{Kmol}\right)$  və  $\Delta G\left(\frac{kJ}{mol}\right)$  termodinamik tənlikləri istifadə etməklə dəyərləndirilir.

$$\ln(K_d) = -\frac{\Delta G}{RT} = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT}$$

$K_d$  adsorbentın paylanma əmsalı,  $T$  temperatur,  $K$  və  $R$  universal qaz sabitidir. ( $8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ} / (\text{K mol})$ ). Müxtəlif adsorbentlərdə mis və sink ionlarının sərbəst enerjisini ( $\Delta G_{298,15}$ ) dəyişməsi müvafiq olaraq tullantı sularına tətbiq edilmişdir və bu kəmiyyətlərin 19.81-dən – 26.85-ə qədər dəyişməsi müəyyən olunmuşdur.

Bentonitin müxtəlif strukturlarının su saxlama potensialı vardır. Yüksək temperaturlarda laylararası su itir və bentonitin məsələlər arası xarakteri qızdırılmadan sonra da saxlanılır. Bütün bu faktların nəticəsi olaraq, bentonitin temperaturunun yüksəlməsilə tədricən çəkisinin itki faizi də artır. Bu kütlə itkisi natrium bentonit üçün daha konkretir. Bentonit və natrium bentonitin hər ikisi yüksək temperaturda qismən dağılır, ona görə də bu məhdudiyət termiki işlənmə zamanı aradan qaldırıla bilər.

Aydınır ki,  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarına qarşı natrium bentonit daha yüksək adsorbsiya tutumuna malikdir. Natrium bentonitin  $\text{Cu}^{2+}$  ionlarını adsorbsiya etmək tutumu (ədəbiyyatda verilən uyğun adsorbentlərlə müqayisədə) təbii bentonitdən 0.3-0.4 dəfə çoxdur. Nəticələr cədvəl 2-də verilmişdir və təbii bentonitdə mis(II) ionlarının böyük həcmli natrium bentonitlə müqayisə edilmişdir. Qeyd etmək vacibdir ki, ion-mübadilə adsorbsiyası ilə yanaşı  $\text{Al}^{3+}$  və  $\text{Si}^{4+}$  ionlarının izomorfoloji yerdəyişməsi kristal qəfəsin oktatetroqonal vəziyyətində adsorbsiya prosesi ərzində metal kationlarının keçidi zamanı baş verir.

Müasir dövrdə sorbsiya proseslərinin əsas öyrənilmə mexanizmlərindən sorbsiya qanunauyğunluqlarının kinetikasının öyrənilməsidir. Termodinamik tədqiqatların nəticələrinə və sorbsiya prosesinin fiziki və fiziki-kimyəvi metodlara əsasən hər bir mərhələ üçün sorbsiya prosesinə və onun identifikasiya mexanizminə cavab vermək olar. Dissertasiyada bu məsələlərin aydınlaşdırılmasına geniş yer verilir.



**Cədvəl 2. Termiki işlənmiş təbii və Na-bentonitdə tullantı sularından (adsorbentin ölçüsü  $2.5 \cdot 10^{-2}$  sm) mis(II) ionlarının adsorbsiyasının temperaturdan asılılığı**

Adsorbent	Metal kationları, pH	Adsorbentin xassələri	Müxtəlif temperaturlarda adsorbsiya			
			Temper (1) 293.4 K	Temper (2) 308.4 K	Temper (3) 323.5 K	Temper (4) 338.5 K
Na-bentonit	$\text{Cu}^{2+}$ pH 7.8	$K_d$ $K_T$ , CO sorb. g/g	$2.8 \cdot 10^3$ $29.72 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^3$ $31.2 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^4$ $34.5 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^4$ $35.1 \cdot 10^{-3}$
Təbii bentonit	$\text{Cu}^{2+}$ pH 7.8	$K_d$ $K_T$ , CO sorb. g/g	$4.4 \cdot 10^4$ $21.24 \cdot 10^{-3}$	$9.3 \cdot 10^4$ $24.6 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^5$ $28.01 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^5$ $31.2 \cdot 10^{-3}$
Na-bentonit	$\text{Cu}^{2+}$	$K_d$ $K_T$ , CO sorb. g/g	$1.8 \cdot 10^4$ $20.4 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^4$ $22.7 \cdot 10^{-3}$	$4.7 \cdot 10^4$ $26.8 \cdot 10^{-3}$	$8.9 \cdot 10^4$ $29.1 \cdot 10^{-3}$
Təbii bentonit	$\text{Cu}^{2+}$	$K_d$ $K_T$ , CO sorb. g/g	$2.6 \cdot 10^3$ $7.8 \cdot 10^{-3}$	$2.8 \cdot 10^3$ $12.7 \cdot 10^{-3}$	$5.6 \cdot 10^3$ $15.01 \cdot 10^{-3}$	$2.8 \cdot 10^4$ $17.9 \cdot 10^{-3}$

Mis(II) və sink ionlarının Na-bentonitdə sorbsiyasının kinetikasi nəticəsində aydınlaşdırılmışdır ki, sorbsiya – desorbsiya tsikllərində “c” və “d” parametrlərinin  $\ln k = c - d/\tau$  və sərbəst aktivləşmə enerjisindən ( $\Delta G^*$ ) asılılığı sorbsiya zamanı tsikldən tsiklə dəyişmiş olur (cədvəl 3). Sorbsiya prosesinin verilən məhlullar üçün sərbəst aktivləşmə enerjisi I tsikldə  $C_{T.v} = 2,59 \cdot 10^{-5}$  mol/l və IV tsikldə  $C_{T.o} = 8,34 \cdot 10^{-4}$  mol/l tərtibində olur. Bir sözlə, sorbsiya – desorbsiya tsikllərinin sayı artdıqca sərbəst aktivləşmə enerjisinin qiymətinin artması xemosorbsiya reaksiyalarının getməsinə şərtləndirir.

**Cədvəl 3. Mis(II) və Zn ionlarının sorbsiya prosesi zamanı 3.9 tənliyindəki parametrlərinin və sərbəst aktivləşmə enerjisinin qiymətləri**

İonlar	İonların məhluldakı ilkin qatılıqları, mol/l	Tsiklin nömrəsi	C	d, dərəcə <sup>-1</sup>	$\Delta G^*_{248,15}$ KC, mol/l
Zn <sup>2+</sup>	2,62·10 <sup>-5</sup>	1	-5,29	830,58	19,98
	“ — ”	2	-4,79	1114,03	21,09
	“ — ”	3	-11,20	924,31	35,38
	“ — ”	4	-10,15	582,01	29,97
	“ — ”	5	-10,64	715,03	32,27
	8,4·10 <sup>-4</sup>	1	-8,57	87,15	21,91
	“ — ”	2	-9,49	252,76	25,56
	“ — ”	3	-11,46	933,05	36,07
	“ — ”	4	-10,18	542,77	29,61
	“ — ”	5	-10,20	503,57	29,35
Cu <sup>2+</sup>	6,29·10 <sup>-5</sup>	1	-0,38	2647	22,61
	6,29·10 <sup>-5</sup>	1	-1,13	2350	22,28

Bu zaman  $\ln k = -\Delta G^0/RT$  (2) tənliyinə əsasən 1-ci və 4-cü məhlullar üçün 25<sup>0</sup>C-də iondəyişmə reaksiyalarının sürət sabitləri hesablanmışdır və onlar müvafiq olaraq 1,84·10<sup>-6</sup> san<sup>-1</sup> və 2,63·10<sup>-4</sup> san<sup>-1</sup> qiymətlərə malik olmuşdur. Bu kəmiyyətlər mis(II) və sink ionlarının sorbsiya prosesinin I tsikldəki sürət sabitindən əsaslı surətdə kiçikdir (cədvəl 3). Bu da onu sübut edir ki, 3-5-ci sorbsiya tsikllərində bu ionların sürətli dönər iondəyişmə sorbsiyası baş verir. Beləliklə, xemosorbsiya mərhələsində sorbsiya sürəti Zn<sup>2+</sup>>Cu<sup>2+</sup>.

Na-bentonitdə mis(II) ionlarının sorbsiya-desorbsiyasından alınan məlumatlara əsasən belə nəticəyə gəlmək olar ki, mis(II) ionlarının sorbsiyası iki mərhələlidir və proses ümumilikdə dönər iondəyişmə mexanizmi üzrə gedir.

**Cədvəl 4. Na-bentonitdə mis(II) və sink ionlarının sorbsiyası zamanı entropiyanın, entalpiyanın Hibbs sərbəst enerjisinin və korellasiya əmsali kəmiyyətlərinin qiymətləri**

İon-lar	İonların məhlulda ilkin qatılığı, $C_b$ , mol/l	Tsiklin nömrəsi	$\Delta H$ , $KC \cdot mol^{-1}$	$\Delta S$ , $C \cdot mol^{-1}$ , $dər.^{-1}$	$\Delta G^*_{298,16}$ , $KC \cdot mol^{-1}$	Korellasiya əmsali
$Cu^{2+}$	$6,29 \cdot 10^{-5}$	1	29,64	190,8	-27,15	0,96
$Zn^{2+}$	$7,56 \cdot 10^{-5}$	1	30,10	161,4	-18,17	0,97
$Zn^{2+}$	$7,56 \cdot 10^{-5}$	1	33,17	169,8	-17,45	0,96
$Cu^{2+}$	$6,29 \cdot 10^{-5}$	1	28,15	177,9	-25,03	0,96

Müəyyən olunmuşdur ki, praktiki olaraq  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionlarını tamamilə desorbsiya etmək üçün 1M qatılıqlı NaCl məhlulundan istifadə etmək lazımdır. Regenerasiya prosesi üçün NaCl məhlulunun qatılığı müəyyənləşdirildikdən sonra regenerasiyanın zamandan asılılığı öyrənilmiş və 97-98% çıxıma nail olmaq üçün vaxt müddəti müəyyənləşdirilmişdir. Regenerasiyadan sonra alınmış konsentratlarda atom-absorbsion metoddla tədqiq olunan metal kationlarının miqdarı təyin olunmuşdur (cədvəl 5).

**Cədvəl 5.  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionlarının 1M qatılıqlı NaCl məhlulu ilə desorbsiyasının nəticələri**

Desorbsiyanın aparılma müddəti, dəq.		0,5	1	2	3	4	5
$Cu^{2+}$	Praktiki çıxım %	35	55	70	87	94	98
$Zn^{2+}$		28	49	75	83	92	97

Regenerasiyadan alınan duz məhlullarının tərkibində sorbsiya olunmuş bütün ionlar mövcuddur, lakin  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionlarının qatılıqları uyğun olaraq 26.8 və 21.6 mq/l-dir. Mis(II) və Zn ionlarını belə məhlullardan müasir texnologiyanın köməyi ilə, bir sözlə, iondəyişmə və ya ekstraksiya

metodu ilə çıxarmaq olar. Bentonit əsaslı sorbentdən  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarını natrium xlorid məhlulu ilə desorbsiya etdikdə onlarla birgə adsorbsiya olunmuş ionları regenerasiya etmək olur.

Termiki işlənmiş Na-bentonitdə adsorbsiya olunmuş  $\text{Cu(II)}$  və  $\text{Zn}$  ionlarının natrium xlorid məhlulunda regenerasiyası tədqiq olunmuşdur. Regenerasiya prosesinə təsir edən amillər reagent qatılığı və israf olunma miqdarı müəyyənləşdirilmiş, prosesin optimal şəraiti işlənib hazırlanmışdır. Müəyyən olunmuş optimal şəraitdə 96-98% çıxımla  $\text{mis(II)}$  və  $\text{Zn}$  ionlarının çıxarılması mümkünlüyü müəyyənləşdirilmişdir.

IV fəsilə Na-bentonitdə  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının filiz emalı tullantı sularından çıxarılması üçün riyazi model işlənib hazırlanması, sənaye miqyasında sınaqdan keçirilməsi nəticələrindən bəhs olunur.

Bir sistem, proses və ya məhsulun avantajlarına çatmaq üçün edilən yaxşılaşdırma əməliyyatına optimallaşdırma deyilir. Bir prosesin optimallaşdırılması üçün istifadə edilən ən köhnə üsul; hər bir mərhələ üçün bir parametr üsuludur. Bu üsulda hər mərhələdə sırf bir parametr dəyişir və qalan parametrlər sabit qalır. Bu səbəbdən də belə bir üsulda, dəyişənlərin qarşılıqlı təsirləri nəzərə alınmayan parametrlərin tam təsiri cavabın sətirini yoxlayır. Ayrıca təcrübə sayı çoxalır. Bu vəziyyətdə zaman və vəsait xərci çoxalır.

IV fəsilə Na-bentonitdə  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının filiz emalı tullantı sularından çıxarılması üçün riyazi modelin işlənib hazırlanması, sənaye miqyasında sınaqdan keçirilməsi nəticələrindən bəhs olunur.

Riyazi modelin optimallaşdırılması ilə çox dəyişənli statistik texnikalara nəzarət etmək mümkündür. Təcrübi dizayn (DoE); bu texnikaların ən əlverişlisi sayılır. Bu texniki; təcrübə nəticələrinə çoxhədli tənlik sıralama əsaslı statistik və riyazi metodların bir arada olması deməkdir. DoE'nin funksionallığı olan mərhələləri aşağıdakı üsullardan ibarətdir:

- 1- Proses üzərində təsirli olan müstəqil dəyişənlərin seçimi;
- 2- Təcrübi dizayn və tətbiqi;
- 3- Təcrübi nəticələr üzərində çoxhədli tənliklərin sıralaması;
- 4- Model sıralama qiymətləndirilməsi (variance analizi'ne və ya "ANOVA" ya istinadən);
- 5- Model optimallaşdırılma üçün funksionallıq ekspertin təsdiqlənməsi;
- 6- Hər bir proses və optimallaşma nəticəsi üçün optimallaşma miqdarlarına çatdırılması.

Təcrübi dizayn; ona aid hər bir parçası sistemativ olaraq dəyişən bir qrup təcrübə şərtlərə verilənlərə addır. Bu təcrübələrdən çıxan nəticələri analiz edərək təcrübənin optimal şərtləri, ən əhəmiyyətli faktor və faktorlar arasındakı qarşılıqlı əlaqəni təsdiq edə bilərik. Təcrübi dizayn metodları öz növbəsində bir neçə üsula ayrılır ki, onlardan ümumi və qismən faktorial - Taguchi metodu və cavab səth metodologiyası (RSM) kimi üsulları göstərə bilərik. Bu zaman, RSM üsulu digər üsullara görə daha funksional olduğu üçün nəzərə çarpan bir kateqoriya sayılır. RSM metodu; orta kompozit dizaynı (CCD), Box-Behnken dizaynı (BBD), D-optimal üsulu və tam üsul olaraq dörd yerə bölünür. Bu üsulda dörd mərhələ içərisində dəyişənlərin eyni vaxtda olaraq çıxış üzərindəki təsiri təhlil edilir.

( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ ) dəyişənlərin "Y" cavabı üzərində olan şərh və təsiti

Kodlanmış ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ ) dəyişənlərin 1-4 əlaqə vəsiləsi ilə hesablanmışdır

$$x_i = \frac{X_i - \frac{(X_i)_{high} + (X_i)_{low}}{2}}{\frac{(X_i)_{high} - (X_i)_{low}}{2}}$$

ki, onun içində ( $X_i$ )<sub>high</sub>, ( $X_i$ )<sub>low</sub> müvafiq  $X_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, k$ ) dəyişənlərinin üst və alt miqdarlarıdır. Nəzəri nəticələrin meydana gəlməsi üçün gərilmə analizi üzərindən təcrübi model seçilməlidir.

Bu çoxhədli modelində ikinci mərhələ geniş bir şəkildə istifadə edilir. İkinci çoxhədli mərhələdə "Y" nəticəsi üçün ümumi tənlik 2-4 əlaqə şəkildə verilir.

Bentonit nano quruluşlu  $Cu^{2+}$  ağır metal ionlarının çıxarılma miqdarının modellənməsi üçün, qarışıqın başlanğıc dörd pH-dan faktorla CCD təcrübi dizaynından ( $X_1, -$ ),  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ( $X_2$ , mq/l) ağır metalların başlanğıc qatılığı, bentonitdə sorbsiya miqdarından ( $X_3$ , q/l) və zamandan ( $X_4$ , dəq) istifadə olunur.  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionları üçün bütün hissəciklərin ümumi sayı (N) 1-8 bağlantıya görə hesablanır.  $K=4$  və  $cp=7$ -ə görə  $Cu^{2+}$  ağır metal kationunun çıxarılması üçün ümumi 31 növ təcrübə mövcuddur. Bununla əlaqədar 6 sayılı cədvəldə düzgün məlumatlar və kodlamalar verilmişdir.

**Cədvəl 6. Dəyişənlərin verilən miqdarında kodlamalar, modelləşmə üçün nəzərdə tutulan  $\text{Cu}^{2+}$  ağır metal ionlarının çıxarılmasının optimallaşdırılması**

S <sub>1</sub> - ra	X <sub>1</sub> (pH)	X <sub>2</sub> (mg/L)	X <sub>3</sub> (mg/L)	X <sub>4</sub> (dəq)	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	Y <sub>exp</sub>	Y <sub>RSM</sub>
1	7.80	148	1.5	90	+1	+1	-1	+1	61.15	67.78
2	6.95	111	3	60	0	0	+2	0	94.25	81.52
3	7.80	74	2.5	90	+1	-1	+1	+1	61.52	79.53
4	6.10	74	1.5	30	-1	-1	-1	-1	50.36	60.12
5	7.80	148	2.5	90	+1	+1	+1	+1	89.35	85.85
6	6.95	111	2	20	0	0	0	-2	65.45	60.18
7	6.95	111	2	60	0	0	0	0	80.92	81.50
8	6.95	111	2	60	0	0	0	0	81.64	81.50
9	6.10	74	2.5	90	-1	-1	+1	+1	91.47	85.20
10	7.80	74	2.5	30	+1	-1	+1	-1	50.78	67.92
11	6.10	74	1.5	90	-1	-1	-1	+1	74.05	69.10
12	6.10	148	2.5	90	-1	+1	+1	+1	64.78	68.10
13	7.80	74	1.5	30	+1	-1	-1	-1	73.80	70.67
14	6.95	111	2	120	0	0	0	+2	88.74	85.99
15	6.95	111	2	60	0	0	0	0	81.77	81.50
16	6.1	74	2.5	30	-1	-1	+1	-1	83.85	80.55
17	6.95	111	2	60	0	0	0	0	81.99	81.50
18	6.95	111	2	60	0	0	0	0	80.12	81.50
19	6.95	111	2	60	0	0	0	0	81.39	81.50
20	6.95	111	1	60	0	0	-2	0	36.75	43.02
21	6.95	185	2	60	0	+2	0	0	34.59	40.98
22	7.8	148	2.5	30	+1	+1	+1	-1	63.89	69.03
23	6.92	37	2	60	0	-2	0	0	94.98	82.13
24	6.1	148	2.5	30	-1	+1	+1	-1	56.42	57.79
25	6.95	111	2	60	0	0	0	0	81.09	81.50
26	6.1	148	1.5	30	-1	+1	-1	-1	30.46	12.64
27	7.8	74	1.5	90	+1	-1	-1	+1	81.28	86.17
28	7.8	148	1.5	30	+1	+1	-1	-1	37.66	47.06
29	8.56	111	2	60	+2	0	0	0	100	75.94
30	5.25	<u>111</u>	<u>2</u>	<u>60</u>	<u>-2</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	30.03	47.64
31	6.1	148	1.5	90	-1	+1	-1	+1	37.72	26.84

6 sayılı cədvəldə ikinci dərəcəli çoxhədli modellə cavab müddəti metodun modelləşməsi üçün  $\text{Cu}^{2+}$  ağır metal ionlarının çıxarılması üsulunun (ANOVA) təhlili göstərilir. "P" parametrinin miqdarlarına istinadən təsirli amilləri seçə və qalanını modeldən silə bilərik. "P" parametrinin miqdarı bir amil üçün 0.05 altında olması bu amilin təsirli olduğunu göstərir, əks halda 0.05 üzərindəki miqdarları modelin içindən silmək lazımdır.

$\text{Zn}^{2+}$  ağır metal ionu üçün ikinci dərəcəli çoxhədli modelinin versiyalı təhlil olunmuşdur. "P" parametrinin miqdarlarına  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1^2, X_2^2$  və  $X_3$ ;  $\text{Zn}^{2+}$  ağır metal ionlarının çıxarılmasında təsirli olan faktorları meydana gətirir  $X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_3, X_4$  və  $X_4^2$  təsirli olmayan faktorlarıdır ki, onlar modeldən çıxardılmalıdırlar. Bu səbəbdən bu hal üçün son model analiz olunmuşdur.

$$Y_{\text{ZN}} = 86.7374 + 9.2079 X_1 - 8.1671 X_2 - 11.7471 X_3 + 7.6110 X_4 - 6.7915 X_1^2 - 4.7627 X_2^2 - 7.3002 X_3^2 \quad (4)$$

Çoxhədli modeli üzərindən diskret laboratoriya rejimində eyni mühitdə olması RSM'in təcrübi dizayna görə üstünlüklərindən biri sayılır. Buna əsaslanaraq optimallaşdırma prosesi eyni fazalı mühitdə reallaşa bilər. Optimallaşma zamanı dəyişənləri maksimum və minimum həddə çatdırma bilirik və istehsal şərtlərini yarada bilirik. RSM yönteminə optimallaşdırma "df" uyğunluq funksional reallaşır. Mütənasiblik funksiyası 0 ilə 1 arasında dəyişir. Miqdar 1-ə nə qədər yaxındırsa optimallaşmaya bir o qədər yaxın olar.

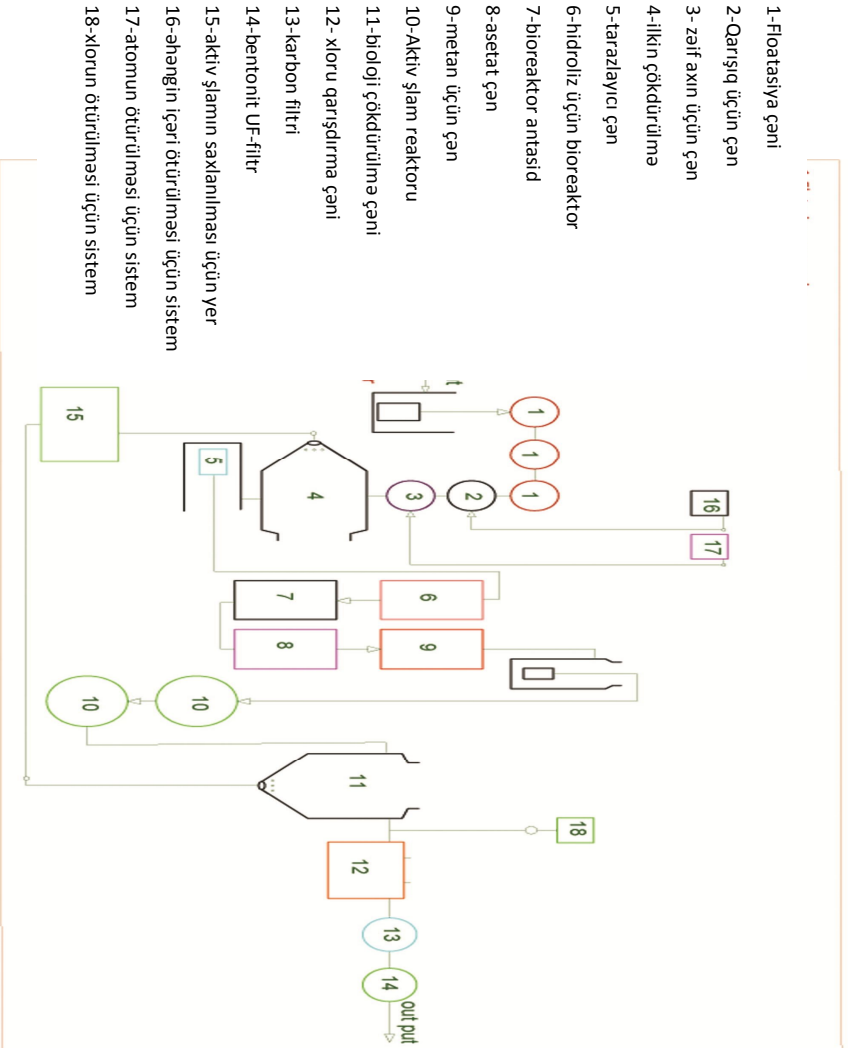
Bu araşdırmada məqsəd, ağır metal ionlarının çıxarılmasına maksimum 0 miqdara çatdırmaqdır. Bu səbəbdən də çıxarılmanın 90%-ə çatdırılmasını və modellərin bu istiqamətdə analiz edilməsini təmin edir. Buna görə də hər iki  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ağır metal ionlarının 90%-ə çatdırılması prosesi ayrı-ayrı dəyərləndirilir.

Bu şərtlər ödənildikdə uyğunluq funksiyası 0.9996 tərtibində olur. Bu səbəbdən təcrübi şərtlərdə  $H=7.3$  başlanğıc qatılıq, 2.1 q/l olduqda 96.8 dəqiqə ərzində  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının bentonitdə sorbsiyası zamanı ən yaxşı nəticə alınır.  $\text{Zn}^{2+}$  ionunun qatılığının 90%-ə qədər artması zamanı istiqamətli optimallaşdırma nəticələrinə nail olunur. Bu şərtlərdə uyğunluq

funksiyası 1.00-ə bərabərdir. Bu səbəbdən təcrübi şərtlərdə  $\text{pH}=6.9$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  ionun qatılığı 2 q/l olduqda 73.1 dəqiqə ərzində bentonitdə sorbsiya ən yaxşı nəticəni verir. RSM modeli ilə təcrübi və nəzərdə tutulan nəticələrin alınması zamanı hər ion üçün təcrübə 3 dəfə təkrarlanmışdır.  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  metal ionlarının çıxarılmasının təcrübi nəticələri uyğun olaraq 2,04 və 3,33% xətlərin olduğunu göstərir ki, bu da praktiki cəhətdən əlverişli sayılır. Bu səbəbdən təcrübi və nəzərdə tutulan məlumatların bir-birinə çox yaxın olduğunu söyləyə bilərik. Bu da sıralandırılmış ikinci dərəcəli modelin təcrübi məlumatlarla uyğunluğun olması üçün bir göstəricisidir.

Sulu məhlullardan  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Cu}^{2+}$  metal ionlarının çıxarılması, parametrlərin müəyyən müddət ərzində qarışıqlıqlı təsiri, müstəqil dəyişənlər arasındakı riyazi modelin şərhə və həlli (çıxarılma məhsuldarlığı) üçün səth metodundan istifadə olunmuşdur. Nəticələr, bütün müstəqil parametrlərin cavab dəyişənləri üçün əhəmiyyətli olduğunu göstərir. Modelin qiymətləndirilməsi də cavab metodunun metal ionlarının çıxarılma müddəti üçün uyğun bir modelləşdirmə üsulu olduğunu göstərir. Prosesin aparılması 90% çıxarılma məhsuldarlığına nail olmaq üçün reallaşdırılır, təcrübi və öncə alınan nəticələr bir-birilə uyğunlaşdırılır. Aparılan araşdırmalar nəticəsində istifadə olunan sınaq qurğusunun sxemi işlənilib hazırlanmış və sənaye miqyasında sınaqdan keçirilmişdir (şəkil 1).





Şəkil 1. Bentonit filtrində sənaye təmizləmə qurğusunun görüntüsü

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. İlk dəfə olaraq mis ( $\text{Cu}^{2+}$ ) və sink ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ionlarının filiz emalı tullantı sularındaki qatılıqlarına uyğun olan sulu məhlullardan kompleks sistematik şəkildə təbii bentonit və onun modifikasiya olunmuş formalarında sorbsiya uyğunluqlarının kinetikasi və termodinamikası öyrənilmişdir.
2. Müəyyənləşdirilmişdir ki,  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının kinetikasi və termodinamikasının öyrənilməsi, həmin ionların və digər mikro elementlərin kompleks şəkildə çıxarılması üçün Na-bentonitin perspektivliyə malik olmasını xarakterizə edir.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  və  $\text{Fe}^{3+}$  ionlarının 0,2 mm dənəvərliliyə malik Na-bentonitlə təmasda olmasının zamandan asılılığı nəticələrinə əsasən aydınlaşdırılmışdır ki, bu ionların model tullantı sularından sorbsiyasının zamandan asılılığı xətti xarakter daşıyır ki, bu da sorbsiya prosesi sürətinin sabitliyə izah olunur.
3. Göstərilmişdir ki, termodinamik parametrlərin minimal qiymətində  $\text{Cu}^{2+}$  və  $\text{Zn}^{2+}$  ionlarının sorbsiyasının təbii bentonitdə Na-bentonitə nisbətən kiçik olması (1,5 dəfə az) bu ionların Na-bentonitdə daha sürətli və seçici olması ilə əlaqədardır (cədvəl 3.3).
4. Aydınlaşdırılmışdır ki, adsorbsiya-desorbsiya tsiklindən asılı olaraq mis(II) və sink ionlarının sorbsiyası zamanı entalpiya və entropiyanın qiyməti monoton azalır və 3-5 tsikl müddətində praktiki olaraq sabit qalır. Bu da onu göstərir ki, mis(II) və sink ionlarının sorbsiyası əsasən bir mərhələli prosesdir (cədvəl 3.5).
5. Elektron səthi analiz metodu ilə müəyyənləşdirilmişdir ki, termiki işlənmiş nanobentonitin Na- və Ca-formaları müxtəlif fazalar və 200 nm-dən az yayılma ölçüsü olan hissəciklərdən ibarətdir, həmçinin bu mineralın tərkibində böyük miqdarda alüminium və silisium vardır.
6. Sink ionlarının nanobentonitin termiki işlənmiş Na- və Ca-formalarında sabit paket rejimində model məhlullardan istifadə etməklə adsorbsiyası nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, temperaturun artırılması ( $20-60^{\circ}\text{C}$ ) ilə Zn ionlarının adsorbsiyası artır. Müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan adsorbsiya prosesi endotermikidir və qeyri ixtiyaridir.
7. Termiki işlənmiş Na-bentonitdə adsorbsiya olunmuş Cu(II) və Zn ionlarının natrium xlorid məhlulu ilə regenerasiya olunması mümkünlüyü aydınlaşdırılmışdır. Regenerasiya prosesinə təsir edən amillər – reagentin qatılığı və sərf olunma miqdarı müəyyənləşdirilmiş, prosesin optimal şəraiti işlənib hazırlanmışdır. Müəyyən olunmuş

optimal şəraitdə 96-98% çıxımla mis(II) və Zn ionlarının desorbsiyası mümkünlüyü aydınlaşdırılmışdır.

8. Sulu məhlullardan  $Zn^{2+}$  və  $Cu^{2+}$  ionlarının desorbsiya parametrlərinin müəyyən zaman ərzində qarışıqların təsiri, müstəqil dəyişən parametrlər arasındakı riyazi modelin şərhli və həllinə cavab verən metod istifadə olunmuş və bentonit filtri üçün sənaye qurğusu işlənilib hazırlanmışdır (şəkil 4.10).
9. Na-bentonitdə  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionlarının filiz emalı tullantı sularından çıxarılması İran İslam Respublikasında sənaye qurğusunda sınaqdan keçirilmişdir. Filiz emalından sonra alınan tullantı suyu əvvəlcə  $Ca(OH)_2$  vasitəsilə pH~11 olana qədər qələviləşdirilir, bu zaman bir sıra komponentlər çöküntü halında ayrılır. Qalan su paralel olaraq içərisində aktiv kömür və Na-bentonit olan kolonkolardan buraxılır. Aktiv kömür olan kolonkada  $Cu^{2+}$  və  $Zn^{2+}$  ionlarının çıxarılması 60-65% olduğu halda, Na-bentonitdə isə kəmiyyət 90-95% tərkibində olur.

#### **Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı elmi əsərlərdə dərc olunmuşdur:**

1. Ш.А.Нассери, А.И.Ягубов, А.Н.Нуриев, В.А.Исмаилова, С.А.Алиева. Сорбция ионов цинка на модифицированных формах бентонита. Koordinasion birləşmələr kimyası. V Respublika Elmi Konfransın materialları, Bakı 2012, səh. 13-14.
2. Ш.А.Нассери, А.И.Ягубов, А.Н.Нуриев, В.А.Исмаилова, Н.Г.Эфендиева. Очистка сточных вод от ионов меди (II) и кобальта(II). Н.Əliyevin anadan olmasının 105 illiyinə həsr olunmuş konfransın materialları, BDU, Bakı-2012, səh. 83.
3. Ш.А.Нассери, А.И.Ягубов, А.Н.Нуриев, В.А.Исмаилова, Н.Г.Эфендиева. Сорбция оксидиазона и некоторых катионных красителей на Даш-Салахлинском бентоните (ДБ) и Зыхском каолините (ЗК). Azərbaycan xalqının Ümummillli lideri Н.Əliyevin anadan olmasının 90-cı ildönü-münə həsr olunmuş “I Beynəlxalq kimya və kimya mühəndisliyi” konfransının material-ları, 17-21 aprel, Bakı-2013, səh. 425-431. [www.ccenf.org](http://www.ccenf.org)
4. Ш.А.Нассери, А.И.Ягубов, А.Н.Нуриев, Н.В.Гусейнова, Н.Г.Эфендиева. Десорбция ионов меди и цинка бентонитового сорбента. Materialy X Mięgryna-rodowej naukow-praktycsej konferenji “Dynamika-Nauko-wych” Badam-2014, 07-15 lipca, volume 7, roku 65-66.

5. Ş.A.Nasseri, A.Yaqubov, G.R.Kiani, A.N.Nuriev, A.Alemi. Adsorption of transition metal ions from simulated wastewater onto thermally activated Na-bentonite. *Fresenius Environmental Bulletin* by PSP, volume 23, #7, 2014, p. 1-5.
6. Ş.A.Nasseri, Ə.İ.Yaqubov, A.Alemi, S.H.Məmmədova, Ə.N.Nuriyev. Daş-Salahlı bentonitinin fiziki-kimyəvi xarakteristikalarına müxtəlif amillərin təsirinin öyrənilməsi. *Kimya Problemləri Jurnalı*, № 2, 2015, səh. 213-217.
7. Ş.A.Nasseri, A.I.Yaqubov, A.Alemi, Z.R.Agayeva, V.A.Ismailova, A.Fallahzadeh Abarghueeb. Using of modified nanoclay on bleaching treatment of the neutralized soybean oil. *Azərbaycan Kimya Jurnalı*, № 3, 2015, p. 124-129.
8. Ş.A.Nasseri, A.I.Yaqubov, A.N.Nuriev, A.Alemi. Optimization of C.I. 14 azo dye removal by electro coagulation betda process with response surface methodology. *Chemical Engineering and processing*, 2015, V. , № , pp. 727-731.
9. Ş.A.Nasseri, G.R.Kiani, A.I.Yaqubov, A.Alemi, A.N.Nuriev. Kinetics and thermodynamics study of zinc ions adsorption on to modified nanobentonite. *Wulfenia journal*, pnul tidisci Plinary wulfenia DcCVOXF, *Chemical Engineering*, 2016, V. 82, № 12, pp. 820-826.
10. Ş.A.Nasseri, E.E.Cabarov, N.V.Vəliyeva, A.İ.Yaqubov, Z.Ağayeva. Model məhlullardan sink ionlarının Na- və Co-bentonitdə sorbsiyası. //Bakı Dövlət Universiteti, 2016, may, s. 78
11. F.İ.Allahmanlı, Ş.A.Nasseri, Ə.İ.Yaqubov. Bentonitdə mübadilə kationlarının miqdarının elektronmikroskopik təyini. //Bakı Dövlət Universiteti, 2016, may, s. 79.

**Технология сорбционного извлечения ионов меди (II) и цинка  
из промышленных сточных вод**

**РЕЗЮМЕ**

Диссертационная работа посвящена исследованию сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  из рудных сточных вод на бентоните и его модифицированных формах. Проведены систематические исследования сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  из модельных сточных вод на бентоните. Выявлены кинетические закономерности, изучена а также, термодинамики сорбции выше указанных ионов. Установлено, что изучение кинетики и термодинамика сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  поз-воляющие выявить перспективность Na-бентонитов в сорбционных процессах в указанных целях. При минимальных значениях термодинамических параметров высшая сорбционная емкость Na-бентонита по отношению к ионам  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  связана с селективностью и высокой скоростью. Выявлено, что при сорбционно-десорбционных циклах ионов  $\text{Cu(II)}$  и  $\text{Zn}$  значение энтальпии и энтропии монотонно уменьшается и при 3-5 кратных циклах практически остается постоянной. Установлено, что растворами хлорида натрия можно полностью десорбировать адсорбировавшие ионы  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  с поверхности Na-бентонита. Таким образом, разработан оптимальный режим процесса десорбции. Использован ряд современных физико-химических методов анализа для завершения диссертационной работы.

Разработана математическая модель и рассчитаны все технические параметры рассматриваемых процессов от лабораторного масштаба до промышленного. Полученные экспериментальные результаты были испытаны технологической установке в Иранской Исламской Республике и дано предложение к внедрению данного процесса.

**Technology of sorption extraction of copper (II) and zinc ions  
from industrial waste waters**

**SUMMARY**

The thesis is devoted to studying the sorption of copper (II) and zinc ions from waste waters of ore on bentonite and its modified forms. Systematical researches of adsorption of copper (II) and zinc ions from model waste waters on Na-bentonite were presented. Kinetic laws were defined and thermodynamics of adsorption of abovementioned ions was studied. It was established that studying the kinetics and thermodynamics of adsorption of copper and zinc ions allows us to define perspectives of Na-bentonites in sorption processes for given purposes. At minimum values of thermodynamic parameters high adsorption capacity of Na-bentonite relative to copper (II) and zinc ions is related to selectivity and high rate. It was detected that in adsorption-desorption cycles of copper (II) and zinc ions the values of enthalpy and entropy monotonously decrease and at 3-5 multiple cycles practically remain unchanged. It was established that absorbed copper (II) and zinc ions can be fully desorbed by chloride of sodium solutions with surface of Na-bentonite. By this way optimum mode of desorption process was developed. We used a number of modern physical and chemical techniques for completion of thesis work. Mathematical model was developed and all technological parameters of the processes from laboratorial to industrial scale were calculated. Obtained experimental results were tested on technological plant in Islamic Republic of Iran and the process was recommended for application.

**Kağız formatı: 60/84 16/1**

**Sayı: 100 nüsxə**

---

**AMEA-nın mətbəəsində çap olunmuşdur**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА  
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
имени АКАДЕМИКА М.НАГИЕВА**

*На правах рукописи*

**ШАХАБ АЛЛАХГУЛУ оглы НАССЕРИ**

**ТЕХНОЛОГИЯ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ  
МЕДИ (II) И ЦИНКА ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

**Специальность: 3303.01 «Химическая технология и  
инженерность»**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**диссертация на соискание ученой степени  
доктора философии по технике**

**Б А К У - 2 0 1 6**