

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**ACİNOHUR TİTANMAQNƏTİT KONSENTRATLARININ  
VANADAT VƏ TİTANAT FRAKSİYALARININ İŞLƏNMƏSİ,  
LİTİUM POLİTİTANATLARI VƏ POLİVANADATLARININ  
SİNTEZİ VƏ TERMODİNAMİKİ TƏDQIQI**

İxtisas: 2303.01 – Qeyri-üzvi kimya

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Ülviyyə Novruz qızı Şərifova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**Bakı – 2024**

Dissertasiya işi Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunda "Dəmir və titan tərkibli filiz xammalının emalı" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbər:** kimya elmləri doktoru, professor  
**Asif Nəsim oğlu Məmmədov**

**Rəsmi opponətlər:** kimya elmləri doktoru, professor  
**İmir İlyas oğlu Əliyev**

kimya elmləri doktoru, dosent  
**Yasin İsa oğlu Cəfərov**

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Əli Adil oğlu İbrahimov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

kimya elmləri doktoru, akademik  
**Dilqəm Bəbir oğlu Tağıyev**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova**

Elmi seminarın sədri:

kimya elmləri doktoru, professor  
**Akif Şıxan oğlu Əliyev**

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Titan və vanadiumla zəngin filiz yataqlarının sistematik olaraq istismar edilməsi nəticəsində onların ehtiyatları xeyli azalmışdır. Bir çox ölkələr, o cümlədən Azərbaycan belə filizlərdən, məsələn titan əsaslı ilmenit, rutil, leykoksen və vanadium əsaslı vanadinit, dekluzit və s. məhrumdur. Buna görə də titanmaqnetit konsentratlarından titan və vanadiumun çıxarılmasının elmi əsaslarının işlənməsi aktual məsələlərdən biridir<sup>1</sup>. Kompleks filiz xammallarına aid olan titanmaqnetit qum səpintiləri və qum daşları yer qabığının əksər regionlarında, o cümlədən Azərbaycanda geniş yayılmışdır. Titanmaqnetitlər əsasən dəmir 2-titanat  $\text{FeTiO}_3$ , maqnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  və  $(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1-x}(\text{TiO}_2)_x$  tərkibli bərk məhlullardan ibarətdir. Titanmaqnetit qum daşlarının tərkibində 13-15 kütlə % Fe, 3-3,5%  $\text{TiO}_2$ , 0,5% V olur. Zənginləşmədən sonra alınan konsentratların tərkibində hədəf komponentləri –  $\text{Fe}_{\text{üm}}$  – 45-54 kütlə %,  $\text{TiO}_2$  – 5-7%, V – 0,7-1% olur.

Titanmaqnetit konsentratlarından titan və vanadiumun çıxarılmasının bir sıra pirometallurgiya və hidrometallurgiya üsulları mövcuddur. Bu üsullar vanadat çuqunları və titan şlakları əldə etmək üçün konsentratların yüksək temperaturda əriməsinə, sonra isə çuqun-polad və vanadat şlaklarının ayrılmasına əsaslanır. Yaranan şlaklar, titan və vanadiumun çıxarılması üçün müxtəlif kimyəvi üsullarla işlənir. Akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun «Dəmir və titan tərkibli filiz xammalının emalı» laboratoriyasında Xəzərin cənub-qərb sahil (Lənkəran, Astara) şelf titanmaqnetit səpintilərinin və Acınohur qum daşlarının maqnetit və titanmaqnetit konsentratlarının hidrogen və karbon-monooksid əlavə edilmiş təbii qazla bilavasitə reduksiyası ilə dəmir ovuntusu, titan və vanadium birləşmələrinin alınması üçün kompleks emalı proseslərinin texnoloji sxemləri işlənib hazırlanmışdır.

Bu tədqiqat işinə qədər Acınohur titanmaqnetit qum daşları konsentratlarından vanadiumun çıxarılması məsələsi tədqiq edilməmişdir. Texnoloji proseslərin əsasını təşkil edən oksidləşmə-reduksiya reaksiyaları qaz axını şəraitində getsə də termodinamiki modelləş-

---

<sup>1</sup> Eli-Feist Subject: FW: - Cheaper Titanium Metal - new production process for Aerospace – from titanomagnetites. 2010/09/01. <https://www.researchgate.net/profile/Eli-Feist>

mədə qeyri-tarazlıq termodinamikası yanaşmasından istifadə edilməmişdir. Vanadat və titanatların çıxarılması prosesində alınan və ion batareyaları üçün perspektiv maddələr olan qələvi metalların polititanatlarının termodinamiki xassələri kifayət qədər tədqiq edilməmişdir. Titanat fazasından üzvi reduksiyaedicilər vasitəsi ilə titanın alınması prosesi az tədqiq edilmişdir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqat işində Azərbaycanın Acınohur titanmaqnetit yatağı filizlərindən alınan konsentratlardan istifadə olunmuşdur.

**Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri.** Tədqiqat işində məqsəd Acınohur qum daşı titanmaqnetit konsentratlarının kompleks emalı prosesində qeyri-maqnit fraksiyalarından vanadat, titanatların çıxarılması və işlənməsi, mühüm tətbiq sahələrinə malik maddələrin sintezi və termodinamiki tədqiqidir. Tədqiqatın məqsədinə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr qoyulmuş və həll edilmişdir:

- Titanmaqnetit tozlarının maqnit seperasiyası ilə zənginləşdirilməsi ilə konsentratların alınması. Konsentratların flüsləşməsi və dənəvərləşdirilməsi.

- Vanadium və titan tərkibli konsentratların, hidrogen və karbon-monoksid əlavəsi olan təbii qazla oksidləşmə-reduksiya proseslərinin Gibbs enerjisinin temperatur tərkib asılılığının modelləşdirilməsi.

- Oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarının reaktorda qaz axını şəraitində getdiyini nəzərə alaraq qeyri-tarazlıq prosesinin termodinamik funksiyasından istifadə edərək proseslərin optimal rejiminin müəyyən edilməsi.

- Titanat və vanadat fraksiyasının emalı proseslərinin texnoloji sxemlərinin tərtib edilməsi və reallaşdırılması.

- Titan-dioksiddən və vanadium pentaoksiddən istifadə etməklə mühüm praktiki əhəmiyyətə malik litium polititanat və vanadatlarının sintezi və termodinamiki xassələrinin təyini.

**Tədqiqatın metodları.** Tədqiqatlarda DSC (markası NETZSCH STA 449F3 STA449F3A-0836-M), DTA (Netzsch 404 F1 Pegasus sistemi) və XRF (toz difraktometr D8 Advance of Bruker,  $\text{CuK}\alpha 1$  şüalanması), Thermo Scientific XRF spektrometrdən istifadə olun-

muşdur. Nəzəri tədqiqat üsulları olaraq fenomenoloji termodinamikanın riyazi aparatının analitik variantından, requlyar məhlulların asimmetrik modelindən və qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinin təsəvvürlərindən istifadə edilmişdir. Hesablamalar və analitik modelləşmələr OriginLab, Grafikus.ru, [www.matematikam.ru](http://www.matematikam.ru) komputer proqramları vasitəsi ilə aparılmışdır.

### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- Azərbaycanın Acınohur titanmaqnetit konsentratlarının titanat və vanadat fraksiyalarının emalı sxemi və reallaşdırılması.

- Vanadium və titan tərkibli konsentratların, hidrogen və karbon-monoksid əlavəsi olan təbii qazla oksidləşmə-reduksiya proseslərinin Gibbs enerjisinin temperatur tərkib asılılığının analitik-riyazi modelləri

- Titanmaqnetit konsentratlarından 99.5% təmizlikli Ti, TiO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> alınması.

- Litium polititanatların və vanadatlarının əmələgəlmə Gibbs enerjisi, entalpiya və entropiyasının təcrübi yolla təyin edilmiş qiymətləri.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi /KQKİ 2022 il qeyri- üzvi kimya sahəsindəki mühüm elmi nəticələr sırasına daxil edilmişdir.<sup>2</sup>**

- Azərbaycanın Acınohur titanmaqnetit konsentratlarının vanadat fraksiyasının emalı prosesi işlənmişdir.

- Oksidləşmə-reduksiya proseslərinin şəraitinin təyin edilməsində tarazlıq və qeyri-tarazlıq hallarının Gibbs enerjilərinin fərqlərinə əsasən qeyri-səlis məntiq yanaşmadan istifadə edilmişdir.

- İlk dəfə olaraq  $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{TiO}_3 + n\text{CO}_2 \uparrow$  endotermik reaksiyasının *qoşulmuş* iki reaksiyadan ibarət olduğu müəyyən olunmuşdur: 1) başlanğıc maddə litium karbonatın parçalanması (endotermik) və 2) bu reaksiyadan alınmış titan dioksidin litium karbonatın parçalanma məhsulu litium oksidlə reaksiyası (ekzotermik). Ekzotermik reaksiya endotermik reaksiyanı stimullaşdıraraq litium titanatın tam sintezini təmin edir.

---

<sup>2</sup> <https://kqkiamea.az/az/content/26>

• İlk dəfə olaraq litium titanatları  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Li}_{1.92}\text{Ti}_{1.04}\text{O}_{3.04}$ ,  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Li}_{2.12}\text{Ti}_{0.94}\text{O}_{2.92}$ ,  $\text{Li}_4\text{TiO}_4$  və litium vanadatlarının  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  ( $x=0.26-0.66$ ) Gibbs enerjisi və entropiyası təyin edilmişdir.

### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.**

Titanmaqnetit konsentratının tozlarının baraban tipli aparatda qanullaşdırmasının riyazi modelləri və Gibbs enerjisinin temperatur-təzyiq asılılığının analitik 3D modeli filizlərin emalı proseslərində istifadə oluna bilər.  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Li}_{1.92}\text{Ti}_{1.04}\text{O}_{3.04}$ ,  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Li}_{2.12}\text{Ti}_{0.94}\text{O}_{2.92}$ ,  $\text{Li}_4\text{TiO}_4$  və  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  ( $x=0.26-0.66$ ) birləşmələrinin termodinamiki parametrləri bu fazaların termodinamiki sabilliyini və litium-ion batareyalarında istifadə olunma perspektivini göstərir. Qeyri-səlis məntiq yanaşma əsasında kimyəvi reaksiyaların termodinamiki modelləşdirilməsi üsulu magistrlər üçün yazılmış dərsliyə daxil edilmiş və tədrisdə istifadə olunur; Dilqəm Tağıyev, Asif Məmmədov. Gələcəyin kimyası. 2019, səh.249-252

### **İşin aprobeiasyası.**

Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfransların proqramına daxil edilmiş və müzakirə olunmuşdur: V Межд. Конф. Российского Химического Общества им. Д.И.Менделеева / Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. Москва, 2013; VI Межд. Конф. РХО им. Д.И.Менделеева / Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов. Москва, 2014; АМЕА akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun 80 illiyinə həsr olunmuş konfransın materialları. Bakı, 2016; Müasir kimya və biologiyanın aktual problemləri. Beynəlxalq elmi konfrans. Gəncə, 12-13 may 2016, 5-6 may 2023; IX Всерос. Науч. конф. / Керамика и композиционные материалы. Сыктывкар, 2016; 22nd Intern. Conf. on Chem. Therm. in Russia - RCCT 2019. Saint Petersburg, Russia. June 19-23, 2019; 21st ICS Inter. Chem. Congress (ICC 2022), 26-28 July 2022, Tabriz, Iran; 15th Inter. Conf. on Appl. of Fuzzy Systems (ICAFS-2022), Budva, Montenegro, August 25-26, 2022. Международная конференция по естественным наукам и технологиям.

## **Müəllifin şəxsi töhfəsi**

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində, onun nəticələrinin elmi mətbuatda çap edilməsində və aprotasiyasında əsas pay sahibidir

**Çap olunmuş əsərlər.** Dissertasiya mövzusunda aid 19 elmi əsər, o cümlədən 1 patent alınmış, 8 məqalə (2 WoS, 3 Scopus bazalarına daxil jurnallarda), 10 konfrans materialı çap olunmuşdur

**İşin quruluşu və həcmi.** Dissertasiya giriş, 4 fəsil, 17 cədvəl, 4 sxem, 39 şəkil, nəticələr, 195 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarət olub, 133 səhifə həcmə malikdir. Fəsil 1, mündəricat və giriş 55000 şərti işarədən (30 səh.); fəsil 2, 33500 şərti işarədən (24 səh.); fəsil 3, 58500 şərti işarədən (42 səh.); fəsil 4 və əsas nəticələr 22500 şərti işarədən (16 səh.), ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla cəmi 169 500 şərti işarədən ibarətdir.

## **İŞİN MƏZMUNU**

**Girişdə** mövzunun aktuallığı, məqsədi, həll edilən məsələlər əsaslandırılır, müdafiyyə çıxarılan müddəalar, elmi yeniliklər, işin elmi və praktiki əhəmiyyəti təqdim edilir.

**Birinci fəsil** (ədəbiyyat icmalı) vanadium tərkibli titanmaqnetit filizinin tərkibinə, yer qaqbığında yayılmasına, emalı üsullarının fiziki-kimyəvi əsaslarına, o cümlədən termodinamiki modelleməsinə həsr olunmuşdur. Titanmaqnetitlər əsasən ilmenit  $\text{FeTiO}_3$ , maqnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  və onların əmələ gətirdiyi bərk məhlullardan ibarətdir. Onların tərkibinə maqnetitin  $\text{Fe}^{+3}$  kationlarını izomorf əvəz edən  $\text{V}^{+3}$  kationları daxil olduğundan tərkiblərində  $\text{V}_2\text{O}_3$  oksidləri də daxildir. Bunların əsas qismi  $\text{V}^{+5}$  kationuna oksidləşdiyindən onların tərkibində vanadium pentaoksidən  $\text{V}_2\text{O}_5$  ibarətdir. Mənbəyindən asılı olaraq zənginləşdirilmiş titanmaqnetit konsentratlarının, o cümlədən Acınohur qum daşlarının titanmaqnetit konsentratlarının tərkibi aşağıdakı kimidir (kütlə %): 55-64% Fe, 2,5-17%  $\text{TiO}_2$ , 0,5-1,3%  $\text{V}_2\text{O}_5(\text{V}_2\text{O}_3)$ , 0,5-3%  $\text{SiO}_2$ , 0,5-4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,1-1,05%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 0,5-3% MgO, 0,1-1,7% MnO). Tədqiqat üçün flüsləşmiş titanmaqnetit konsentratının dənəvərlərinin kompleks emalının texnoloji sxemi seçilmişdir.

**İkinci fəslin** mövzusu Acınohur qum daşı titanmaqnetit konsentratlarının kompleks emalı, vanadat və titanat fraksiyalarının ay-

rılmasıdır. Qum daşlarının zənginləşdirmə və dənəvərləşdirmə ilə konsentratlarının alınması üçün 0,67 mm ölçüsündə asan üyüdülmən, 0,075mm ölçüsündə isə çətin üyüdülmən hissəciklərdən ibarət fraksiyalara ayrılmışdır. Bu fraksiyaların tərkibində hədəf elementləri Fe – 13-15%; TiO<sub>2</sub> – 2,3-3,0%; V – 0,6% və Mn – 0,7% miqdarında olur. Qum daşlarının tərkibi və ölçüsü nəzərə alınmaqla su ilə şlamsızlaşdırma aparılmış, sonra isə maqnit sahəsinin gərginliyini idarə etməklə əsas (7800 erstətdə) və təmizləyici (500 erstətdə) yaş maqnit separasiyası yerinə yetirilmişdir. Nəticədə titanmaqnetit konsentratlarının tərkibində hədəf elementlərinin miqdarı Fe<sub>üm</sub> - 45-52%; TiO<sub>2</sub>- 5-7%; V- 0,7-1% və Mn - 0,8%-ə çatmışdır. 0,075 mm ölçülərində fraksiyaları hazırlanması çox enerji tələb etdiyindən daha az enerji tələb edən 0,1 mm ölçülü titanmaqnetit konsentratları soda ilə flüsləşdirilmişdir. Flüsləşdirmə titanmaqnetit konsentratlarına 25% susuz natrium karbonat əlavə etməklə aparılmış və flüsləşdirilmiş konsentratlar baraban tipli dənəvərləşdiricidə su ilə dənəvərləşdirilmişdir

Baraban aparatında qranulların əmələ gəlməsi: layların ardıcıl yığılması və sıxılması prosesləri Qüdrət Kəlbəliyev tərəfindən təklif olunmuş aşağıdakı tənlik vasitəsi ilə modelləşdirilmişdir<sup>3</sup>.

$$a(t) = (a_0 + \gamma t)^{1/2} + a_0 \exp(-b_0 t) \sin\left(\frac{vt}{2}\right) \quad (1)$$

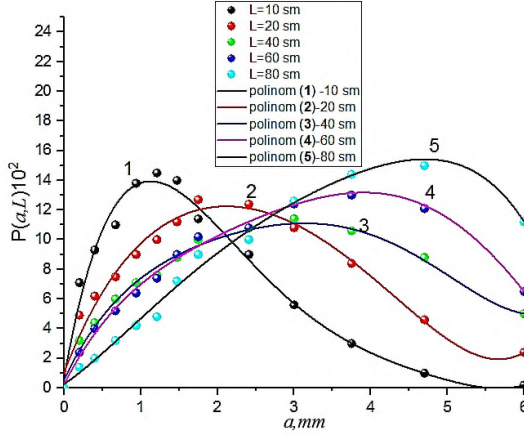
Burada  $\gamma = \frac{2R\omega\lambda}{\pi}$ ;  $a$ -qranulun cari diametri;  $a_0$  – tozun başlanğıc

halı üçün diametrin orta qiyməti;  $b_0$ - toz maddənin hissəciklərinin sıxlığı ilə bağlı parametr;  $t$ -qranul əmələgəlmə müddəti;  $R$ - baraban qurğusunun radiusu;  $\lambda$ -layın qalınlığı;  $\omega$ - baraban qurğusunun fırlanma tezliyi;  $v$ –dinamik özlülüklə bağlı parametrdir.

Eksperimental və nəzəri tədqiqatlar aparatın ölçüsündə və uzunluğunda qranulların yayılması və paylanmasını təyin etməyə imkan vermişdir (Şəkil 1).

<sup>3</sup> Г.И.Келбалиев, Ф.М.Садыхов, Г.М.Самедзаде, А.Н.Мамедов, Д.Б.Тагиев. "Теория и практика гранулирования порошкообразных материалов". Баку: ЭЛМ. 2016. 330 с.





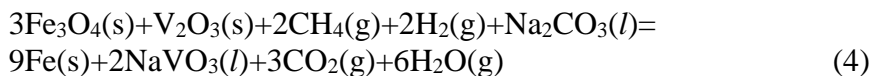
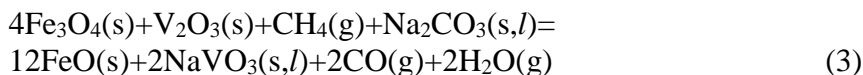
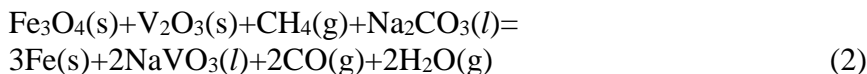
Şəkil 1. Paylanma funksiyasının baraban qranulyatorunun uzunluğu boyunca dəyişməsi. Şəildəki ayrilər OriginLab kompüter proqramı vasitəsi ilə 5-ci dərəcəli polinomlarla modelləşdirilmişdir:  $P(a,L) = B_0 + B_1 a + B_1 a^2 + B_1 a^3 + B_1 a^4 + B_1 a^5$

Paylanma funksiyasının əmsalları:  $P(a,L) = B_0 + B_1 a + B_1 a^2 + B_1 a^3 + B_1 a^4 + B_1 a^5$ .

		Standard Error	t-Value	Prob> t	
10	Intercept	0,67974	0,78817	0,86243	0,41702
	B1	29,14574	3,50729	8,31004	7,14449E-5
	B2	-21,29035	4,40571	-4,83245	0,00189
	B3	6,08772	2,10023	2,8986	0,02303
	B4	-0,80333	0,41646	-1,92896	0,09507
	B5	0,0408	0,0289	1,41162	0,20093
20	Intercept	0,99946	0,72891	1,37117	0,21266
	B1	14,12013	3,24357	4,35328	0,00334
	B2	-6,8652	4,07443	-1,68495	0,13587
	B3	1,81787	1,94231	0,93594	0,38046
	B4	-0,3076	0,38514	-0,79867	0,45073
	B5	0,02184	0,02673	0,81711	0,44079
40	Intercept	0,48597	0,39395	1,2336	0,25716
	B1	11,67366	1,75304	6,6591	2,8809E-4
	B2	-6,624	2,20209	-3,00805	0,01972
	B3	2,31662	1,04975	2,20683	0,06309
	B4	-0,41925	0,20816	-2,0141	0,08386
	B5	0,02777	0,01445	1,92199	0,09605
60	Intercept	0,26741	0,36265	0,73739	0,48486
	B1	10,05656	1,61376	6,23177	4,31715E-4
	B2	-4,50293	2,02713	-2,22133	0,06176
	B3	1,36966	0,96635	1,41736	0,19932
	B4	-0,21534	0,19162	-1,12378	0,29816
	B5	0,01173	0,0133	0,88221	0,40694
80	Intercept	0,23774	0,51279	0,46362	0,65699
	B1	3,84797	2,28185	1,68633	0,13559
	B2	1,04472	2,86637	0,36447	0,72626
	B3	-0,53535	1,36642	-0,39179	0,70687
	B4	0,09258	0,27095	0,34168	0,74262
	B5	-0,00696	0,0188	-0,36988	0,72241

Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Natrium sodası ilə flüslanmış natrium-vanadium-titanmaqnetit konsentratlarının qranullarında maqnetitin dəmir 2 oksid, sərbəst dəmirə birbaşa reduksiyasının,  $V^{+3}$ -in  $V^{+5}$ -ə oksidləşməsi reaksiyaları aşağıdakı kimidir:



Oksidləşmə-reduksiya prosesində iştirak etməyən titan dioksid  $\text{TiO}_2$  reaksiya tənliyinə daxil edilməmişdir. 900-1200K temperatur diapazonunda (2-4) reaksiyalarının Gibbs sərbəst enerjisinin temperaturdan asılılıqları Temkin-Şvarsman tənliyinin A.N.Məmmədov<sup>4</sup> tərəfindən işlənmiş variantından istifadə olunmuşdur:

$$\begin{aligned} \Delta G_T = & \Delta H_{298}^0 - \Delta S_{298}^0 T - T \left( \Delta a \left( \ln \left( \frac{T}{298} \right) - \frac{298}{T} - 1 \right) + \right. \\ & \Delta b \left( \frac{T}{2} + \frac{298^2}{2T} - 298 \right) + \Delta c^* \left( \frac{T^2}{6} + \frac{298^3}{3T} - \frac{298^2}{2} \right) + \\ & \Delta c \left( \frac{T^{-2}}{2} + \frac{298^{-1}}{-T} + \frac{298^{-2}}{2} \right) - nRT [x \ln f(x) + (1-x) \ln f(1-x)] + \\ & RT \sum v_i \ln P_i \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta G_T$ ,  $\Delta H_{298}^0$ ,  $\Delta S_{298}^0$  - (2-4) reaksiyalarındakı maddələrin standart əmələgəlmə Gibbs enerjisinin, entalpiya və entropiyasının qiymətləridir;

$v_i$  - stexiometrik əmsallar;

$P_i$  - qeyri-tarazlıq vəziyyətində komponentlərin parsial təzyiqləri (reaksiya qaz qarışığı axını rejimində reaktorda gedir).

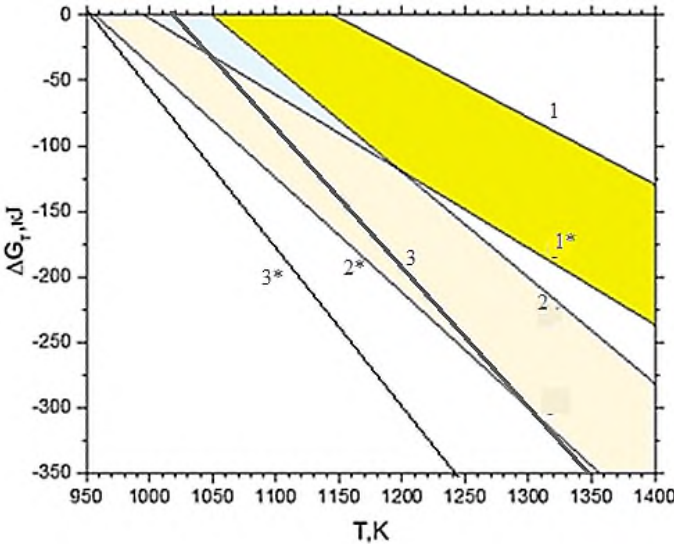
---

<sup>4</sup> А.Мамедов. «Термодинамика систем с немолькулярными соединениями». . LAP LAMBERT Academic Publishing. 2015.115 с.

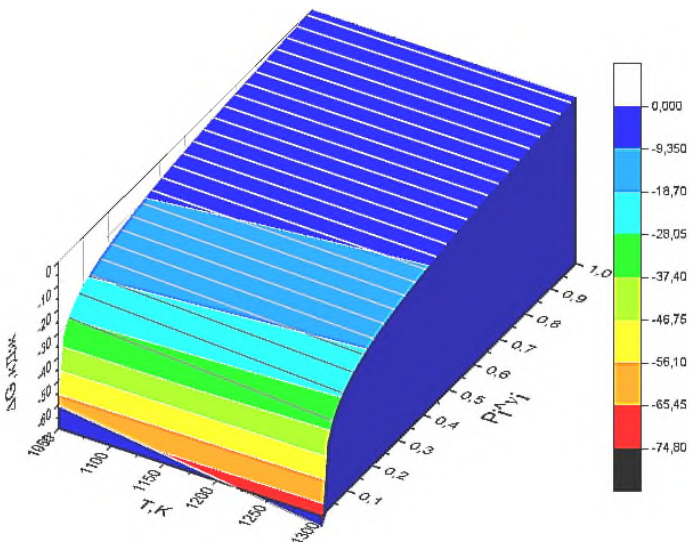
$RT[x \ln f(x) + (1-x) \ln(1-x)]$  – funksiyası  $Fe_3O_4$  kristal qəfəsindəki  $Fe^{3+}$  ionlarının  $V^{3+}$  ionları ilə əvəz edilməsi ilə əmələ gələn  $xFe_3O_4 + (1-x)V_2O_3 \rightarrow Fe_{3x}V_{2(1-x)}O_{3+x}$  bərk məhlulların Gibbs sərbəst enerjisi; n- kristal qəfəsdəki eyni olmayan kationların sayıdır; (5) tənliyinin axırını üzvü prosesin qaz axını rejimində tarazlıq haldan kənara çıxmasını nəzərə alır.

Şəkil 2-də (5) tənliyindən istifadə etməklə aparılan hesablamaların nəticələri göstərilmişdir Tarazlıq vəziyyətindən kənaraçıxmanın xarakterini müəyyən etmək üçün, dəmir və vanadiumun metan və hidrogen qarışığı ilə reduksiyasının axın rejimində parsial təzyiqlərin nisbətindən asılılığının üçölçülü modelləşdirilməsi həyata keçirilmişdir (şəkil 3).

Şəkil 2 və 3 göstərir ki, (2-4) reaksiyaları, qaz reaksiya məhsulları çıxarıldıqda və reaksiyalar tarazlıq olmayan termodinamik şəraitdə, daha aşağı temperaturda gedir. Ən aşağı temperaturda, 950 K-də reaksiya (4) başlayır. Bu onunla bağlıdır ki, reduksiyaedici qaz fazasında metanla yanaşı, hidrogen də var.



Şəkil 2. (2-4) reaksiyalarının Gibbs enerjilərinin tarazlıq vəziyyətində (xətt 1,2,3) və qeyri-tarazlıq vəziyyətində (xətt 1\*,2\*,3\*) temperaturdan asılılıqları.

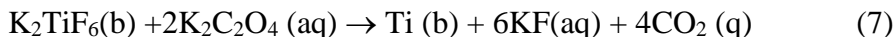
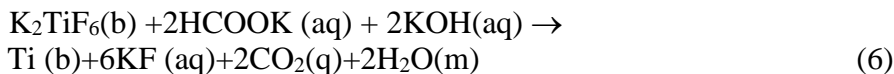


**Şəkil 3. Dəmirin reduksiya və vanadium oksidləşməsi reaksiyasında metan və hidrogen qarışığının qaz axını rejimində Gibbs enerjisinin parsial təzyiqlərin nisbətindən asılılığın üçölçülü modeli.**

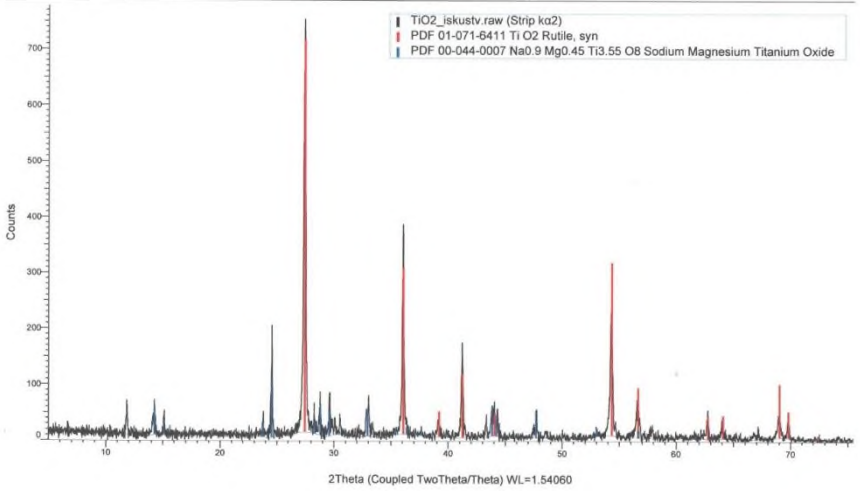
Tarazlıq və qeyri-tarazlıq şəraitində gedən reaksiyaların sərbəst Gibbs enerjiləri arasındakı fərqin 3D analitik modeli (şəkil 3) göstərir ki, oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarının temperaturunun kəskin azalması reaksiya məhsullarının aşağı təzyiqli qiymətləri ( $\sum_1^n P_i^{Y_i} < 0.01 \text{ atm}$ ) bölgəsində müşahidə olunur. Termodinamiki analiz nəticəsində metal dəmir və natrium vanadatı almaq üçün 950-980 K temperatur diapazonu seçilmişdir.

Titanmaqnetit konsentrasiyalarının qeyri-maqnit fraksiyasının işlənməsi nəticəsində texniki təmizliyə malik titan dioksid (rutil modifikasiyası) alınmışdır (şəkil 4).

Üzvi reduksiyaediciyədən istifadə etməklə 80-100 °C-də titan metalı (şəkil 5) alınmışdır:

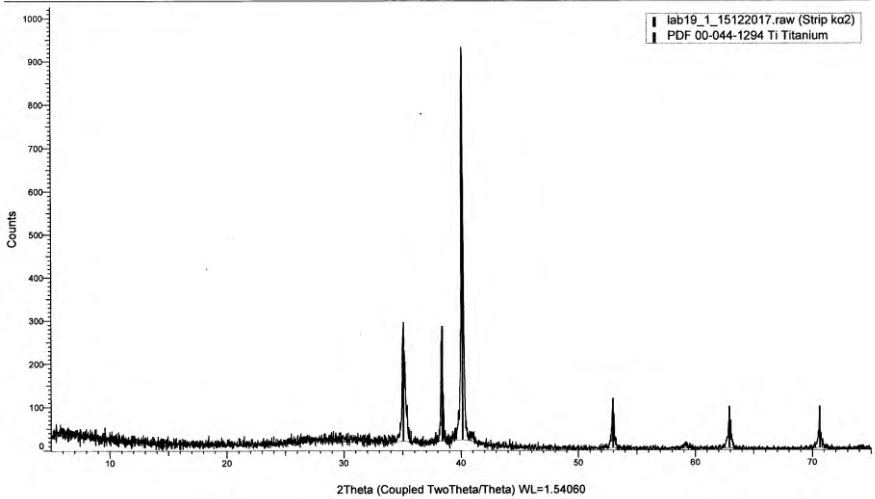


Commander Sample ID



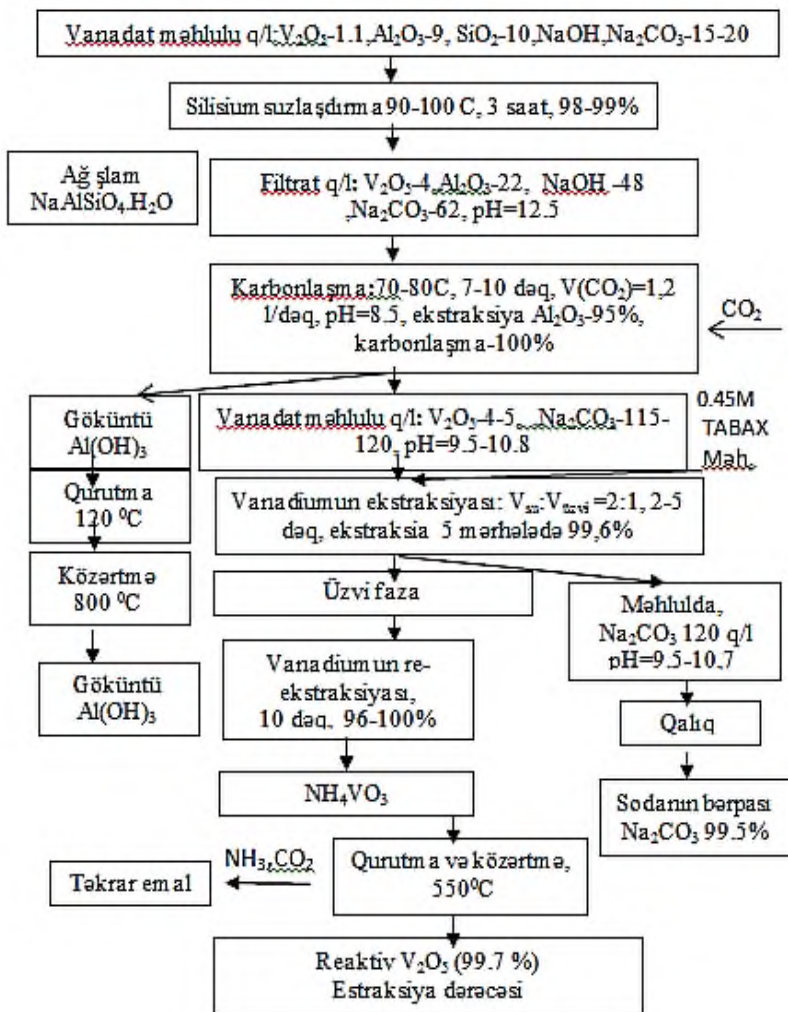
**Şəkil 4. Polititanat  $n\text{TiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  turşularının közərdilməsindən alınan rutilin (99%  $\text{TiO}_2$ ) difraktoqramması**

Commander Sample ID



**Şəkil 5. (6 və 7) reaksiyaları vasitəsi ilə alınmış Ti (99%) tozunun difraktoqramması**

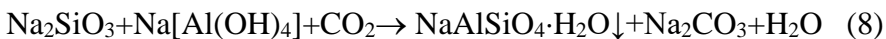
**Üçüncü fəslin** mövzusu titanmaqnetit konsentratlarının kompleks emalında karbonat-vanadat məhlullarının karbonlaşma üsulu ilə təmizlənməsi və təkrar emal şəraitinin tədqiqidir. Karbonat – vanadat məhlullarının karbonlaşma üsulu ilə işlənməsi və vanadium pentoksidin alınması sxem 1-də ümumiləşdirilmişdir.



**Sxem 1. Vanadat fraksiyasının emalının texnoloji sxemi**

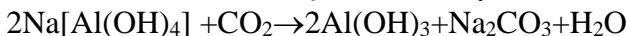
Vanadat məhlulunun karbonlaşdırma üsulu ilə emalı sxemi bu mərhələlərdən ibarətdir: ağ şlamın - natrium hidroalüminosilikatın ayrılması ilə məhlulun silisiumsuzlaşdırılması mərhələsi (silisiumsuzlaşdırılma dərəcəsi 98-99%); alüminium hidroksid çökməsi və  $\gamma$ -alüminium oksid alınması ilə (alüminium oksidin çıxarılması dərəcəsi 95%) karbonlaşma mərhələsi, natrium bikarbonatın çökməsi və istifadə olunan sodanın regenerasiyasından ibarət karbon qazı ilə mərhələli karbonlaşma (sodanın çıxarılması dərəcəsi 95%, təmizliyi 96,7-99,5%) və texniki  $V_2O_5$  almaq üçün (çökmə dərəcəsi  $V_2O_5$ -97%, vanadiumun ümumi həqiqi hasilatı 99,5%, təmizliyi 93,8%) almaq üçün hidratlanmış vanadium pentoksidin hidrolitik çökdürmə mərhələsi. Hazırlanmış texnoloji sxem səmərəlidir, bahalı reagentlərə ehtiyac duyulmur, tullantısız və qapalıdır.

Karbonlaşdırma zamanı mərhələlərlə natrium-alüminosilikatın çökməsi, kaustik qələvinin natrium-karbonata çevrilməsi və natrium hidrokarbonatın çökdürülməsi reaksiyaları aparılır:



Alüminium birləşmələrinin ayrılması ilə vanadat məhlullarının karbonlaşmasının şərtlərini öyrənmək üçün silisiumsuzlaşdırmadan sonra (reaksiya 8) aşağıdakı tərkibin vanadat məhlulu tədqiq edilmişdir, q/l:  $V_2O_5$  - 3,5;  $Al_2O_3$  22;  $Na_2O$ (ümumi)- 68,5;  $Na_2O$ (kaustik)- 37,5;  $Na_2O$  (karbonat) – 3,1; (NaOH- 46,4;  $Na_2CO_3$  - 53) pH =12,5.

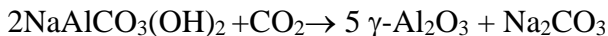
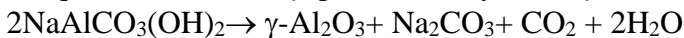
Alüminium ortohidroksidin çökmə reaksiyası:



Məhlulda qismən natrium alüminium karbonat əsasi duzu da alınır



Çökmənin 1000°C-də qovrulması (kəzərdilmə) zamanı dausonit və natrium alüminat  $Al_2O_3$  və  $Na_2CO_3$  əmələ gəlməsi ilə parçalanır, çünki qovurma zamanı aşağıdakı reaksiyalar baş verir:

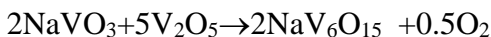


Bu reaksiyalar 1000°C-də kəzərdilmiş alüminium hidroksid

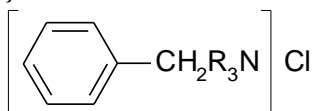
birləşmələrinin rentgen şüalarının difraksiya nümunəsi ilə təsdiqlənir. Burada vurğulamaq lazımdır ki, alüminium oksidinin istehsalında arzuolunmaz hadisələrdən biri  $\gamma$  - alüminium oksidinin  $\alpha$ -formasına passivləşməsidir, çünki  $\gamma$  - oksid daha qiymətli, kimyəvi aktivliyə və daha yaxşı katalitik xüsusiyyətlərə malikdir. Gibbsit və digər alüminium birləşmələrinin yandırılması zamanı alüminium oksidinin kristal şəbəkəsinin modifikasiyasının dəyişməsi yüksək temperatur və su buxarının aktiv təsiri ilə həyata keçirilir.

Silisiyum və alüminium qarışıqlarından təmizlənmiş vanadat məhlulundan soda regenerasiya edildikdən sonra, məhlulun karbon qazı ilə mərhələli karbonlaşdırılması və əsas soda kütləsinin (96%) natrium bikarbonat şəklində çökməsi ilə təmizlənmiş vanadat məhlulu tərkibində 68,5-60 q/l  $V_2O_5$  və 70 q/l  $Na_2CO_3$  olur. Məhlulun pH-1,8-2-dir. Belə məhlullardan vanadiumu çıxarmaq üçün qəbul edilən üsullardan biri də vanadium pentoksidin hidrolitik çökdürülməsidir

Vanadat məhlullarının qatılaşdırılması və qızdırılması nəticəsində vanadium pentaoksidin soda ilə reaksiyasından natrium metavanadat alınır. Metavanadat isə artıq miqdarda olan vanadium pentaoksidlə reaksiyaya girərək polivanadatlar (şəkil 6), o cümlədən  $NaV_6O_{15}$  əmələ gətirir:



**Vanadium pentaoksidin ekstraksiya üsulu ilə çıxarılması.** Ekstraksiya üçün texniki TABACH (trialkilbenzilammonium xlorid) məhlulu istifadə edilmişdir:



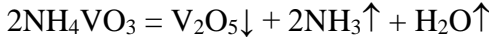
Burada R alkil radikalıdır:  $C_7 - C_9$ .

0.45M TABAKH məhlulu, birbaşa karbonat məhlullarından vanadiumu çıxarmağa imkan verir. Karbonat mühitində ( $V_2O_5$  - 4.5 q/l,  $Na_2CO_3$  - 120 q/l -ə qədər) vanadiumu çıxararkən karbonat ionları hətta 20 qat artıq olduqda belə vanadiumun çıxarılma dərəcəsi (f -2-5 dəq,  $V_{su}: V_{org} = 2: 1$ , pH-10.8-11) bir mərhələ üçün olduqca yüksəkdir -60% və 5-6 mərhələdə isə demək olar ki, vanadium tam ekstraksiya olunur. Karbonat

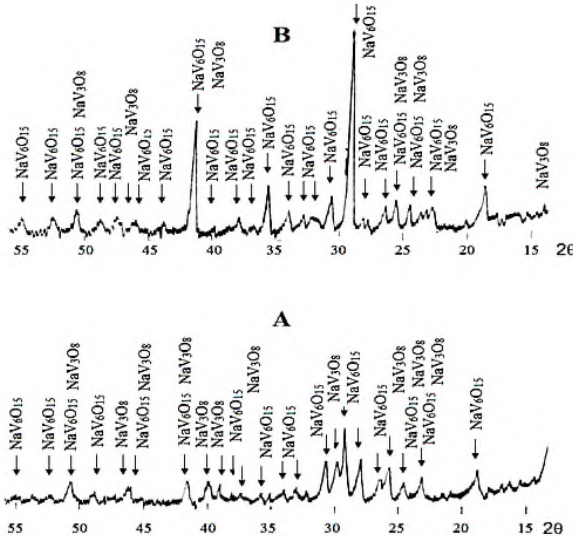


-vanadat məhlullarından vanadiumun ekstraksiya etdikdə, TABAKH məhlulunun vanadiyumla doyması 21 ilə 28,8 q/l arasında idi.

Vanadiumun ekstraktantdan yenidən çıxarılması şərtlərini öyrənmək üçün bir sıra birləşmələr sınaqdan keçirildi. Ən təsirli reagentlər  $\text{NH}_4\text{Cl}$  və  $(\text{MH}_4)_2\text{CO}_3$  duzlarının məhlulları oldu. Tədqiqatlar göstərdi ki,  $V_{\text{water}} : V_{\text{org}} = 2 : 1$  və 10 dəqiqəlik zamanda ammonium xlorid ilə reekstraksiyada, vanadiumun maksimum çıxarılması  $\text{NH}_4\text{Cl}$  20% qatılığında baş verir, 40% li  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  məhlulundan istifadə etdikdə isə artıq bir mərhələdə ayrılma dərəcəsi 90%-ə çatır. Ayrılmış  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  ammonium metavanadat sabit çəkiyə qədər qurudulub  $550^\circ\text{C}$  temperaturda qızdırıldıqda vanadium 5- oksid alınır:

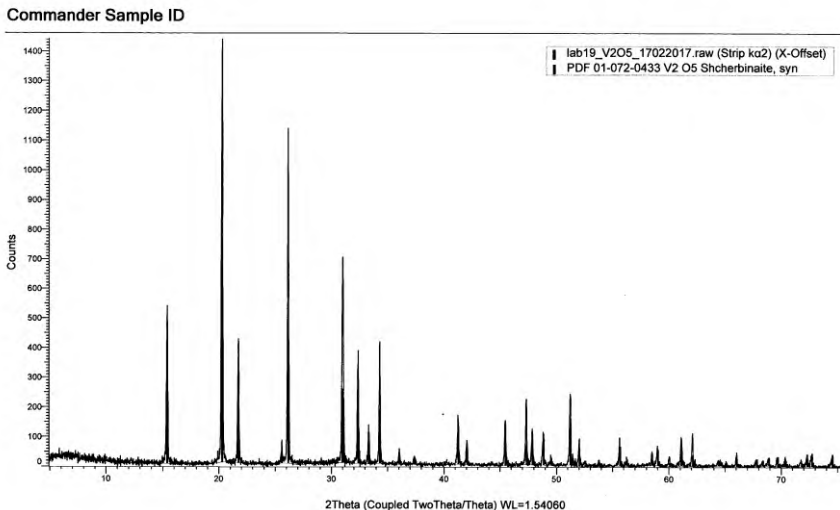
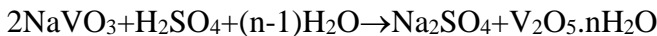


Qalıq vanadiumlu sulu faz yenidən reekstraksiya prosesinə qaytarılır.  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  -ün parçalanmasından sonra keyfiyyətcə analitik dərəcəyə uyğun olaraq 99.7% reaktiv təmizliyə malik vanadium pentoksid alınır (şəkil 7).



**Şəkil 6. A-Natrium vanadatın süni məhlullarından çökdürülən natrium polivanadatların  $500^\circ\text{C}$ -də gözərdilən nümunəsinin difraktoqramı; B-Acinohur qum daşı titanmaqnetit konsentratlarının emalından alınan qatılaşdırılmış vanadat məhlullarından çökdürülən polivanadatların  $600^\circ\text{C}$ -də gözərdilən nümunəsinin difraktoqramı**

Metavanadat və polivanadatlardan vanadium pentaoksidin alınması aşağıdakı reaksiya ilə baş verir:



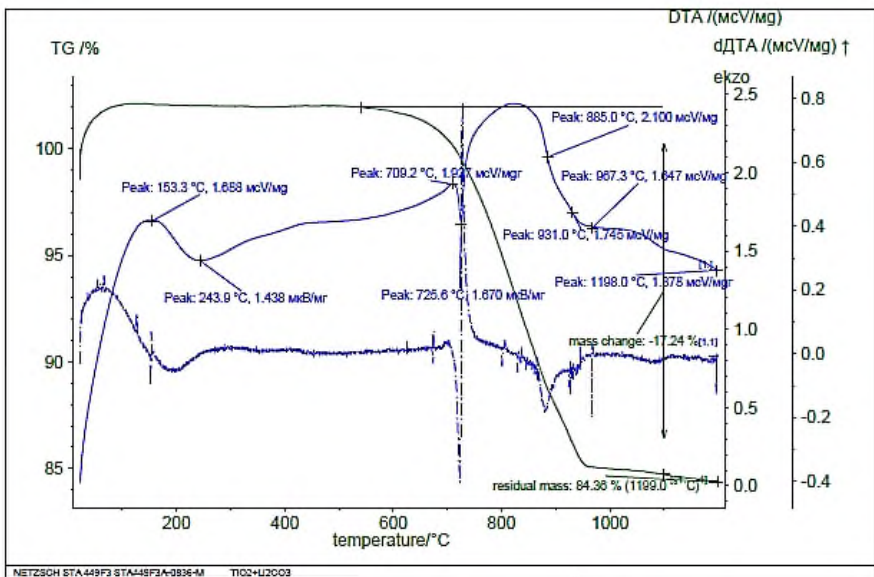
**Şəkil 7. Vanadat məhlullarından alınan vanadium pentaoksid tozlarının difraktoqramması**

**Dördüncü fəsil** titanmaqnetit konsentratlarının emalından alınmış titan dioksid və vanadium oksidlərindən istifadə etməklə litium titanatları və vanadatlارının sintezi və termodinamiki tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Litium titanatlar litium karbonat və titan dioksid qarışığının reaksiyaya uyğun olaraq stexiometrik nisbətlərdə əridilməsi ilə əldə edilir:



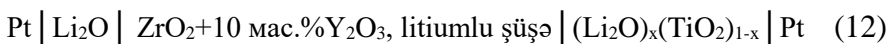
Sintez üçün 554-13-2 markalı, 99,9% təmizlikli  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  və 9-2 TU 6-09-01-629-83 markalı 99,98% təmizlikli  $\text{TiO}_2$  istifadə edilmişdir. Litium karbonat və titan dioksidin ekvimolyar nisbətində reaksiyasının (11) derivatoqrafik analizinin nəticələri şəkil 8-də göstərilmişdir.



**Şəkil 8. Litium karbonat və titan dioksidin ekvimolyar nisbətdə  $\text{Li}_2\text{CO}_3:\text{TiO}_2=1:1$  reaksiyasının derivatoqrafik analizinin nəticələri.**

Şəkil 8-dəki TA və DTA əyriələrindən belə nəticə çıxır ki, 153 C-də reaktivlərin qarışığında mövcud olan nəmin susuzlaşması ilə əlaqəli endotermik proses baş verir. Ekzotermik minimum  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ -in parçalanması ilə əldə edilən  $\text{Li}_2\text{O}$  və  $\text{TiO}_2$  arasındakı reaksiya ilə bağlıdır.  $\text{Li}_2\text{O}+\text{TiO}_2\rightarrow\text{Li}_2\text{TiO}_3$  reaksiyasının entalpiyasının termodinamik hesablanması bu reaksiyanın ekzotermik olduğunu göstərir. Bu ekzotermik reaksiyanın istiliyi (11) endotermik reaksiyanı 726 °C-də başa çatmasını təmin edir.

Litium titanatlarının termodinamiki parametrlərini təyin etmək üçün aşağıdakı qatılıq dövrələrinin EHQ ölçülmüşdür:



(12) elementinin elektrik hərəkət qüvvəsinin qiymətlərinə əsasən hesablanmış termodinamiki parametrlər cədvəl 1-də verilmişdir.

## Cədvəl 1

**Litium titanatların sadə maddələrdən və Li<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> birləşmələrindən (işarə edilmişdir\*) əmələ gəlməsinin termodinamik funksiyaları və standart entropiyasının qiymətləri.**

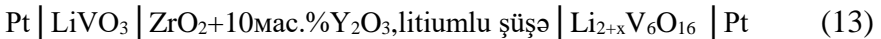
Birləşmə	$-\Delta G_{1200K}^{0,*}$	$-\Delta H_{1200K}^{0,*}$	$-\Delta S_{1200K}^{0,*}$	$-\Delta G_{298}^0$	$-\Delta H_{298}^0$	$S_{298}^0$
	kJ/mol		J/mol. K	kJ/mol		J/mol. K
Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	356.1±4	371.1±5	12.51±0.2	5923±30	6287±40	315.7±4
Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	115.2±1	120.2±2	4.16±0.2	1565±10 1571±10	1662±20 *1668±20	84.0±2 *91.8±2
Li <sub>4</sub> TiO <sub>4</sub>	137,9±1	146.1±3	8.82±0.2	2149±10	2286±15	119.1±3

*\*База данных. Термические константы веществ. / Иориси В.С., Юнгман В.С. // Институт теплофизики экстремальных состояний РАН. Химический факультет. МГУ. –2006.*

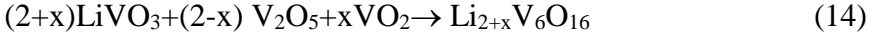
Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Li<sub>1.92</sub>Ti<sub>1.04</sub>O<sub>3.04</sub>, Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>, Li<sub>2.12</sub>Ti<sub>0.94</sub>O<sub>2.92</sub>, Li<sub>4</sub>TiO<sub>4</sub> birləşmələrinin Li<sub>2</sub>O və TiO<sub>2</sub> birləşmələrindən əmələ gəlməsinin sərbəst enerjilərinin müqayisəsi (cədvəl 1) Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>-ün ən yüksək stabil-lyə malik olduğunu göstərir. Eyni zamanda, Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Li<sub>1.92</sub>Ti<sub>1.04</sub>O<sub>3.04</sub>, və Li<sub>2.12</sub>Ti<sub>0.94</sub>O<sub>2.92</sub> birləşmələri qonşu fazalarla müqayisədə nisbi stabilliyə malikdir. Li<sub>1.92</sub>Ti<sub>1.04</sub>O<sub>3.04</sub> и Li<sub>2.12</sub>Ti<sub>0.94</sub>O<sub>2.92</sub> tərkibləri Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> –in homogenlik bölgəsi üçün sərhəd fazalarıdır.

Qələvi metalların vanadium oksid bronzaları OVB (vanadatlar), o cümlədən litium vanadatları, katalizator, müqayisə elektrodları, anti-korozion materiallar, elektron texnikası kimi tətbiq sahələrinə malikdir. Litium vanadatların ümumi formulları belədir: Li<sub>2+x</sub>V<sub>6</sub>O<sub>16</sub> (x=0.26-0.66). Formulda stexiometriyadan kənarıçıx-manın səbəbi tərkibdə V<sup>+5</sup> lə yanaşı V<sup>+4</sup> halında da vanadium atomları vardır.

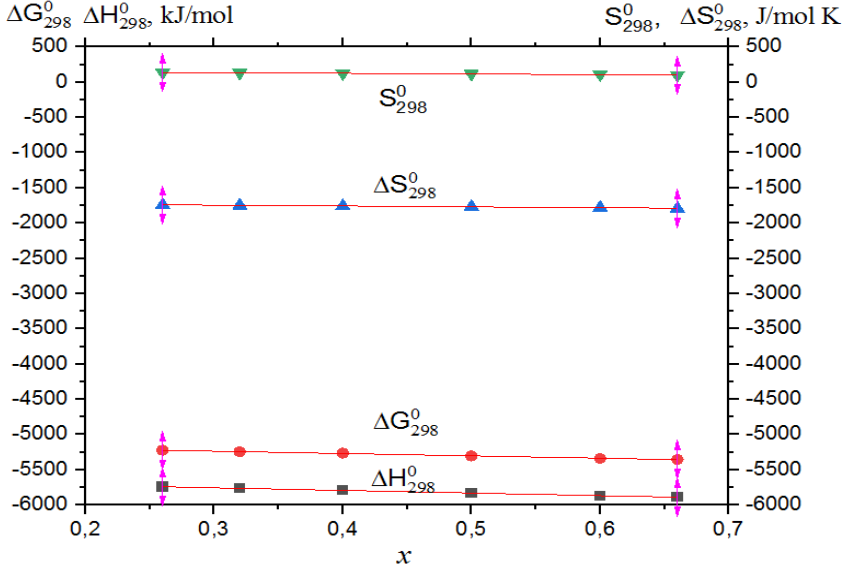
Litium vanadatların termodinamiki parametrlərini təyin etmək üçün aşağıdakı qatılıq dövrlərinin 900-1200K temperatur intervallında EHQ ölçülmüşdür:



(13) elementinin potensialəmələgətirici reaksiyası aşağıdakı kimidir:



Litium vanadatlarının standart termodinamiki parametrlərinin tərkibdən asılılığı şəkil 9-da verilmişdir



**Şəkil 9.  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  litium vanadatlarının əmələgəlmə entropiyası, entalpiyası, Gibbs enerjisi və standart entropiyasının tərkibdən asılılığı:**

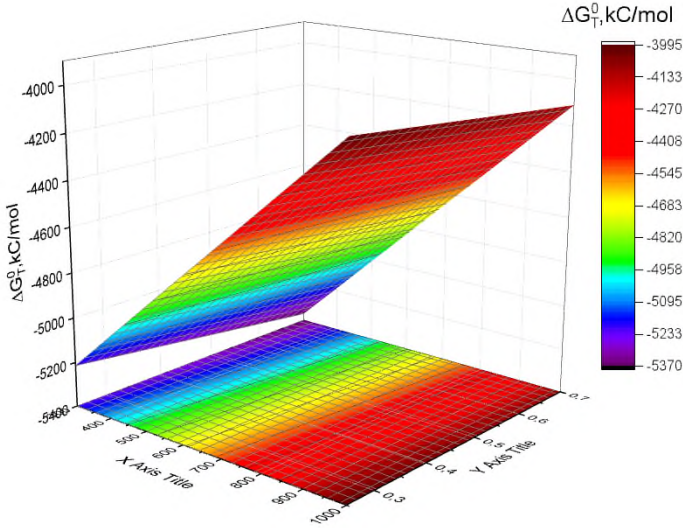
$$S_{298}^0 \left( \frac{\text{C}}{\text{mol.K}} \right) = 163.1 - 92.17x; \quad \Delta S_{298}^0 \left( \frac{\text{C}}{\text{mol.K}} \right) = -1708 - 121.7x;$$

$$\left( \Delta G \left( \frac{\text{kC}}{\text{mol}} \right) = -5134 - 334.4x; \quad \Delta H_{298}^0 \left( \frac{\text{C}}{\text{mol.K}} \right) = -5643 - 372.7x;$$

Yuxarıdakı şəkil altı (şəkil 9) analitik asılılıqlar əsasında Gibbs enerjisinin temperatur-tərkib asılılığı üçün aşağıdakı tənliklər alınmışdır.

$$\Delta G \left( \frac{\text{kC}}{\text{mol}} \right) = -5643 - 372,7x + (1,708 + 0,1217x)T \quad (15)$$

Burada  $y=x$ ;  $x=T$  göstərir. (15) tənliyinin OriginLab proqramının “analyse” funksiyası vasitəsi ilə 3D görüntüsü şəkil 10-da verilmişdir.



**Şəkil 10.  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  litium vanadatlarının əmələgəlmə Gibbs enerjisinin temperatur və tərkibdən asılılığının 3D görüntüsü.**

$\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  litium vanadatlarının əmələgəlmə entropiyası, entalpiyası, Gibbs enerjisi və standart entropiyasının tərkib-temperatur asılılıqları bu maddələrin geniş temperatur intervalında stabilliyini göstərir. Mütləq entropiyanın  $S_{298}^0$  nisbətən kiçik qiymətləri üçkomponentli birləşmənin ikikomponentli birləşmələrdən əmələgəlməsi zamanı entropiyasının kəskin azalmasıdır. Bu göstərir ki,  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  kristalları yüksək nizamlılığa malikdir.

## NƏTİCƏLƏR

1. Acınohur qum daşlarının tərkibi və ölçüsü nəzərə alınmaqla su ilə şlamsızlaşdırma aparılmış, maqnit sahəsinin gərginliyini idarə etməklə əsas (7800 ersted) və təmizləyici (500 ersteddə) maqnit separasiyası yerinə yetirilmiş və titanmaqnetit konsentratlarının tərkibində hədəf elementlərinin miqdarı  $\text{Fe}_{\text{üm}}$  - 45-52%;  $\text{TiO}_2$ - 5-7%; V- 0,7-1% -ə çatdırılmışdır. Titanmaqnetit konsentratının tozlarından soda ilə flüsləşdirilmiş qranullarının baraban tipli aparatda alınması prosesi və oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarının Gibbs enerjisinin temperatur və təzyiq asılılıqları modelləşdirilmişdir. [1, 7, 6, 8, 13-15]

2. Titanmaqnetit konsentratlarının, o cümlədən ilmenitin heksaflüor-silikat turşusu və kalium xloridlə işlənməsindən alınan kalium heksaflüor titan duzunun üzvi reduksiyaedicilərlə ( $\text{HCOOK}$ ,  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) işlənməsindən yüksək təmizliyə malik titan (99.5%Ti) alınmışdır:
- $$\text{K}_2\text{TiF}_6(\text{b}) + 2\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Ti} (\text{b}) + 6\text{KF}(\text{aq}) + 4\text{CO}_2 (\text{q})$$
- $$\text{K}_2\text{TiF}_6(\text{b}) + 2\text{HCOOK} (\text{aq}) + 2\text{KOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ti} (\text{b}) + 6\text{KF} (\text{aq}) + 2\text{CO}_2(\text{q}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{m}).$$
- [12, 13]
3. Hidrogen əlavə edilmiş təbii qazla qaz axını şəraitində maqnetitin sərbəst dəmirə birbaşa reduksiyası və  $\text{V}^{+3}$ -ün  $\text{V}^{+5}$  oksidləşməsi reaksiyasının tarazlıq və qeyri-tarazlıq hallarının Gibbs enerjilərinin fərqlərinə əsasən qeyri-səlis məntiq yanaşmadan istifadə edərək
- $$3\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{V}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{l})$$
- $$= 9\text{Fe}(\text{s}) + 2\text{NaVO}_3(\text{l}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
- reaksiyası üzrə metal dəmir və natrium vanadat almaq üçün 950-980 K temperatur diapazonu seçilmişdir. [8, 9, 12, 15, 19]
4. Titanmaqnetit konsentratlarının kompleks emalının karbonat-qələvi vanadat məhlulları fraksiyasının karbonlaşdırma üsulu ilə işlənməsinin blok sxemi tərtib olunmuş və reallaşdırılmışdır. Vanadat məhlulunun karbonlaşdırma üsulu ilə emalı sxemi bu mərhələlərdən ibarətdir: ağ şlamın - natrium hidroalümin-osilikatın ayrılması ilə məhlulun silisiumsuzlaşdırılması mərhələsi (silisiumsuzlaşdırılma dərəcəsi 98-99%); alüminium hidroksid çöküntüsü və  $\gamma$ -alüminium oksid alınması ilə karbonlaşma mərhələsi, natrium bikarbonatın çökməsi və istifadə olunan sodanın regenerasiyasından ibarət karbon qazı ilə mərhələli karbonlaşma (sodanın çıxarılması dərəcəsi 95%, təmizliyi 96,7-99,5%) və texniki  $\text{V}_2\text{O}_5$  almaq üçün (çökmə dərəcəsi  $\text{V}_2\text{O}_5$ -97%, vanadiumun ümumi həqiqi hasilatı 99,5%, təmizliyi 93,8%) almaq üçün hidratlaşmış vanadium pentoksidin hidrolitik çökdürmə mərhələsi [12,15].
5. Elektrik hərəkət qüvvəsi üsulu ilə  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Li}_{1.92}\text{Ti}_{1.04}\text{O}_{3.04}$ ,  $\text{Li}_2\text{-TiO}_3$ ,  $\text{Li}_{2.12}\text{Ti}_{0.94}\text{O}_{2.92}$ ,  $\text{Li}_4\text{TiO}_4$  birləşmələrinin əmələgəlmə Gibbs enerjisi, entalpiya və entropiyası təyin edilmişdir.  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ -dən başqa digər birləşmələrin əmələgəlmə termodinamiki funksiyaları ilk dəfə olaraq təyin edilmişdir.  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Li}_{1.92}\text{Ti}_{1.04}\text{O}_{3.04}$ ,  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Li}_{2.12}\text{Ti}_{0.94}\text{O}_{2.92}$ ,  $\text{Li}_4\text{TiO}_4$  birləşmələrinin  $\text{Li}_2\text{O}$  və  $\text{TiO}_2$  birləşmələrindən əmələ gəlməsinin sərbəst enerjilərinin müqayisəsi  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  -ün

ən yüksək stabilliyə malik olduğunu göstərir. Eyni zamanda,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Li}_{1.92}\text{Ti}_{1.04}\text{O}_{3.04}$  və  $\text{Li}_{2.12}\text{Ti}_{0.94}\text{O}_{2.92}$  birləşmələri qonşu fazalarla müqayisədə nisbi stabilliyə malikdir və litium-ion batareyaların hazırlanmasında istifadə oluna bilər [10,14,16,17].

6. Vanadat fazasından alınan  $\text{V}_2\text{O}_5$ -dən istifadə etməklə  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  ( $x=0.26-0.66$ ) litium vanadatları sintez edilmiş və EHQ üsulu ilə termodinamiki parametrləri təyin edilmişdir. Litium vanadatların əmələgəlmə entropiyası, entalpiyası, Gibbs enerjisi və standart entropiyasının tərkib-temperatur asılılıqları bu maddələrin geniş temperatur intervalında stabilliyini göstərir. Mütləq entropiyanın  $S_{298}^0$  nisbətən kiçik qiymətləri üçkomponentli birləşmənin ikikomponentli birləşmələrdən əmələgəlməsi zamanı entropiyasının kəskin azalmasıdır. Bu göstərir ki,  $\text{Li}_{2+x}\text{V}_6\text{O}_{16}$  kristalları yüksək nizamlılığa malikdir [15].

### **Dissertasiya mövzusu üzrə çap edilmiş işlər**

1. Adıgözəlov X.M., Səmədzadə Q.M., Adıgözəlova M.X., Mikayılova A.M., Şərifova Ü.N. Tozvari materialların dənəvərləşdiricisi // Patent Az.R.u i I 20080131, 28.06.2006, Sənədin nömrəsi 20060125, qeyd 14.07.2008.
2. Ализаде З.И., Гасымова А.М., Шарифова У.Н., Абдулрагимова О.Ш. / V Международная Конференция Российского Химического Общества им. Д.И.Менделеева / Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. Москва, 2013. с.49-51
3. Ализаде З.И., Шарифова У.Н., Гасымова А.М., Абдулрагимова О.Ш., Исаченко Т.А. / VI Международная Конференция Российского Химического Общества им. Д.И.Менделеева / Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов. Москва, 2014, с.79-81
4. Z.I.Alizade, A.N.Mamedov, A.M.Qasimova, Q.M.Samedzade, O.Sh.Abdulraqimova, T.A.Isachenko, U.N.Sharifova, I.Q.Sharifova / Conditions of leaching metallized granules of titanomagnetite concentrate of Adzhinaur sandstones of Azerbaijan for obtaining the iron powder / XV International conference on intergranular and interphase boundaries in materials, Ganja, 23-27 May 2016
5. Məmmədov A.N., Səmədzadə Q.M., Qasımova A.M., Əbdülrəhmanova O.S., Şərifova Ü.N., İsaçenko T.A., Şərifova İ.Q., Əliyeva A.A.



- Acınohur titanmaqnetit konsentratından titandioksidin alınması // Müasir kimya və biologiyanın aktual problemləri. Beynəlxalq elmi konfrans 12-13 may 2016-cı il. I Hissə. Gəncə 2016. Konfrans Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunub. 2016, I Hissə, səh.58-60
6. Alizade Z.I., Mammadov A.N., Qasimova A.M., Samedzade Q.M., Sharifova, U.N.. Study of granulation of titanomagnetite concentrate produced from Adzhinaur sandstone with flux soda additive. // Azerbaijan Chemical Journal. 2016, №1, p.39-43.
  7. Мамедов А.Н., Самедзаде Г.М., Гасымова А.М., Шарифова У.Н., Исаченко Т.А., Шарифова И.Г., Абдулрагимова О.Ш., Восстановление офлюсованных окатышей титаномагнетитовых концентратов песчаников природным газом с получением металлизированных окатышей. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, Москва «Академия Естествознания» 2016, часть 2, N.2, с.174-177
  8. Шарифова, У.Н., Мамедов А.Н., Гасымова А.М., Самедзаде Г.М. Термодинамика окислительно-восстановительных реакций ванадийсодержащих титаномагнетитовых концентратов при использовании природного газа // Фундаментальные исследования. 2018. № 6. – с. 35-40.
  9. Sharifova, U.N., Qasimova A.M., Mammadov A.N. Nonequilibrium thermodynamics of oxidative recovery reactions vanadium containing titanomagnetite concentrates //Chemical Problems. 2019. N.4. p. 551-557
  10. Mammadov A.N., Sharifova U.N., Samedzade G.M., Pashazade G.A., Guliyeva S.A. Synthesis and research of functional properties nanostructured titanates of lithium and sodium //Chemical Problems, 2019, N.2. p. 217-234/
  11. Мəммədov А.Н., Şərifova Ü.Н., Qurbanov Q.В. / Titanmaqnetit konsentratlarının təbii qazla reduksiya proseslərinin qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsi mövqeyindən termodinamiki modelləşdirilməsi / Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. Beynəlxalq elmi konfrans Gəncə, 03-04 may 2019-cu il, I Hissə, səh.66-69
  12. Mammadov A.N., Sharifova U.N., Qasimova A.M., Samedzade Q.M., Asadov M.M. Nonequilibrium Thermodynamics of Oxida-

- tive Recovery Reactions Vanadium Containing Titanomagnetite Concentrates //22nd International Conference on Chemical Thermodynamics in Russia (Abstracts RCCT 2019). Saint Petersburg, Russia. June 19-23, 2019, p.22
13. Asif Mammadov, Gunel Pashazade, Afarida Gasymova, Ulviya Sharifova. Processing of titanium-magnetite concentrates for the production of iron, titanium dioxide modifications and titanium // Chemistry and Chemical Technology., 2020, Vol. 14, No. 2, pp. 227–233
  14. Sharifova U.N. Thermodynamic functions of formation of lithium titanates //Azerbaijan Chemical Journal. 2021, № 4. – P.60-66
  15. Sharifova U.N. Processing of the vanadate fraction in Ajinaur titanium-magnetic concentrates //Azerbaijan Chemical Journal. 2022. № 2. p. 63-68.
  16. Sharifova U.N., Ibrahimova F.S., Sharifova İ.Q., Qasimova A.M., Mammadov A.N. Determination of thermodynamic parameters of lithium titanates /21st ICS International Chemistry Congress (ICC 2022), 26-28 July 2022 in Tabriz, Iran;
  17. Sharifova U.N., Ibrahimova F.S., Sharifova İ.Q., Qasimova A.M., Mammadov A.N. Determination of thermodynamic parameters of lithium titanates by measuring the EMF concentration chains / 4 th Intern. Environmental Chemistry Congress (EnviroChem). 30 October-02 November 2022. Antalya Turkey
  18. Sharifova U.N., Mammadov A.N., Tagiev D.B., Babanly M.B. Determination of the Uncertainty of the Parameters of Oxidative-Reduction Reactions of Titanomagnetites. 15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools – ICAFS-2022/ In. Lecture Notes in Networks and Systems / R.A.Aliev et al. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG 2023. p.727-733
  19. Qasimova A.M, Mammadov A.N, Sharifova U.N., Ibrahimova F.S., Sharifova İ.Q. Thermodynamics of reducing roasting of titanomagnetite concentrates with natural gas //European journal of science archives conferences series. Aachener, Germany January March 2023. p.74

Dissertasiyasının müdafiəsi 15 fevral 2024-cü il tarixində saat 10:00 akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143 Bakı şəhəri, H.Cavid pr.113

Dissertasiya ilə akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 15 yanvar 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 11.01.2024

Kağızın formatı: 60x84<sup>1/16</sup>

Həcm: 38492

Tiraj: 100 nüxsə