JOURNAL OF FUTURE
Journal homepage: future-journal.uz

Original Research Article
Volume 2, Issue 7, 2026

Publisher: Uranium Publishing LLC

RUX KOMPLEKSONATLARI VA «UNIFLOK» ASOSIDAGI KOMPOZITSIYALARNING PO‘LAT SIRTIDA ADSORBSIYASI: pH VA Ca^{2+} IONLARINING TA’SIRI

Hayitjon Jumanazar o‘g‘li Muhammadjonov[1,*], Shoyunus Botir o‘g‘li Obidov[1], Hasan Irgashevich Qodirov[2]

[1] Toshkent kimyo-texnologiya instituti, «Neft va gazni qayta ishlash kimyoviy texnologiyasi» kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston
[2] Toshkent kimyo-texnologiya instituti, «Asosiy organik sintez» kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston

[*] Corresponding author: hayitbekmuhammadjonov8@gmail.com | ORCID (Sh.B. Obidov): 0000-0002-7678-4249

ARTICLE INFO

Dates:
Received: 12.10.2026
Revised: 22.10.2026
Accepted: 30.10.2026

DOI:
10.66960/jof.3093-8899.00051

Copyright:
CC BY 4.0

ANNOTATSIYA

Maqolada oksietilidendifosfon (OEDF) va nitrilotrimetilfosfon (NTF) kislotalarining rux kompleksonatlari, «Uniflok» polimer reagenti va ular asosidagi kompozitsiyalarning uglerodli po‘lat sirtida adsorbsiyasi kulonostatik usulda, qo‘sh elektr qatlam sig‘imini o‘lchash orqali pH 2–10 oralig‘ida (24 °C) o‘rganilgan. Barcha ingibitorlar konsentratsiya ortishi bilan qo‘sh qatlam sig‘imini kamaytiradi; adsorbsiya Lengmyur izotermasi bilan, ishqoriy muhitda «Uniflok» uchun esa Frumkin izotermasi bilan tavsiflanadi. Alohida ingibitorlarning adsorbsion muvozanat konstantasi (B) pH 2 dan 10 gacha 4–10 marta kamaygani holda, Zn^{2+}(OEDF+NTF) va Zn^{2+}(«Uniflok»+OEDF+NTF) uchun pH 4–10 da $B = (3{,}9–4{,}5) \cdot 10^3$ m^3/mol bo‘lib, pH 2 dagi qiymatning 74–83 % i saqlanadi. Standart adsorbsiya Gibbs energiyasi $-41{,}8 \ldots -48{,}3$ kJ/mol ni tashkil etib, kimyoviy adsorbsiya ulushi yuqoriligini ko‘rsatadi. 3 % li NaCl eritmasida (pH 6) Zn^{2+} ionlari «Uniflok» adsorbsion konstantasini 3,2 marta oshiradi, Ca^{2+} ionlari (1 g/l) esa adsorbsiyani susaytirmaydi.

Kalit so‘zlar: rux kompleksonatlari, OEDF, NTF, «Uniflok», adsorbsiya, qo‘sh elektr qatlam sig‘imi, Lengmyur izotermasi, Gibbs energiyasi, po‘lat, kalsiy ionlari.

АННОТАЦИЯ

Кулоностатическим методом по ёмкости двойного электрического слоя изучена адсорбция на углеродистой стали цинковых комплексонатов оксиэтилидендифосфоновой (ОЭДФ) и нитрилотриметилфосфоновой (НТФ) кислот, полимерного реагента «Унифлок» и композиций на их основе при pH 2–10 (24 °C). Все ингибиторы снижают ёмкость двойного слоя с ростом концентрации; адсорбция описывается изотермой Ленгмюра, а для «Унифлок» в щелочной среде — изотермой Фрумкина. В то время как константа адсорбционного равновесия (B) индивидуальных ингибиторов уменьшается в 4–10 раз при переходе от pH 2 к pH 10, для Zn^{2+}(ОЭДФ+НТФ) и Zn^{2+}(«Унифлок»+ОЭДФ+НТФ) при pH 4–10 она составляет $(3{,}9–4{,}5) \cdot 10^3$ м^3/моль, т.е. 74–83 % от значения при pH 2. Стандартная энергия Гиббса адсорбции составляет $-41{,}8 \ldots -48{,}3$ кДж/моль, что указывает на значительный вклад хемосорбции. В 3 %-ном растворе NaCl (pH 6) ионы Zn^{2+} увеличивают константу адсорбции «Унифлок» в 3,2 раза, а ионы Ca^{2+} (1 г/л) не ослабляют адсорбцию.

Ключевые слова: цинковые комплексонаты, ОЭДФ, НТФ, «Унифлок», адсорбция, ёмкость двойного электрического слоя, изотерма Ленгмюра, энергия Гиббса, сталь, ионы кальция.

ABSTRACT

The adsorption of zinc complexonates of 1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP) and nitrilotris(methylenephosphonic) acid (NTMP), the polymeric reagent «Uniflok» and compositions based on them on carbon steel was studied at pH 2–10 (24 °C) by the coulostatic method from the double-layer capacitance. All inhibitors decrease the double-layer capacitance with increasing concentration; adsorption obeys the Langmuir isotherm, and the Frumkin isotherm for «Uniflok» in alkaline medium. While the adsorption equilibrium constant (B) of the individual inhibitors decreases 4–10-fold from pH 2 to pH 10, for Zn^{2+}(HEDP+NTMP) and Zn^{2+}(«Uniflok»+HEDP+NTMP) it remains at $B = (3.9–4.5) \cdot 10^3$ m^3/mol at pH 4–10, i.e. 74–83 % of the value at pH 2. The standard Gibbs energy of adsorption ranges from -41.8 to -48.3 kJ/mol, indicating a significant contribution of chemisorption. In 3 % NaCl (pH 6), Zn^{2+} ions increase the adsorption constant of «Uniflok» 3.2-fold, whereas Ca^{2+} ions (1 g/L) do not weaken adsorption.

Keywords: zinc complexonates, HEDP, NTMP, «Uniflok», adsorption, double-layer capacitance, Langmuir isotherm, Gibbs energy, steel, calcium ions.

How to cite:
Muhammadjonov H.J., Obidov Sh.B., Qodirov H.I. (2026). Rux kompleksonatlari va «Uniflok» asosidagi kompozitsiyalarning po‘lat sirtida adsorbsiyasi: pH va Ca^{2+} ionlarining ta’siri. *Journal of Future*, 2(7), 8–10. https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00051

Kirish

Neft va gaz qazib olish, tayyorlash va tashish jarayonlarida uglerodli po‘latdan yasalgan jihozlar yuqori minerallashgan qatlam suvlari, erigan CO_2 va H_2S ta’sirida jadal korroziyaga uchraydi. Bunday sharoitda korroziya ingibitorlarini qo‘llash jihozlarni almashtirish yoki qimmatbaho qotishmalardan foydalanishga nisbatan eng tejamkor himoya usullaridan biri hisoblanadi [1]. Suvli muhitlarda ingibitorlarning ta’siri, avvalo, ularning metall sirtida adsorbsiyalanish qobiliyati va sirt atomlari bilan kompleks hosil qilishi bilan belgilanadi [2]. Organofosfonatlar — OEDF va NTF — hamda ularning metall kompleksonatlari korroziya va mineral tuzlar cho‘kishini bir vaqtda sekinlashtiruvchi ko‘p funksiyali ingibitorlar sifatida keng qo‘llaniladi [3].

Rux tuzi va fosfon kislotalar birgalikda qo‘llanganda sinergik ta’sir kuzatilishi, po‘lat sirtida rux birikmalari va fosfonat komplekslaridan iborat himoya qatlami hosil bo‘lishi ko‘rsatilgan [4], himoya samaradorligi esa Zn^{2+} va OEDF ning molyar nisbatiga sezilarli darajada bog‘liq [5]. Eritmadagi kationlar aminofosfon kislotalarining ingibirlovchi ta’sirini o‘zgartirishi [6], aminofosfonatlar hamda organofosfonatlarning rux kompleksonatlari konstruksion po‘latlarni samarali himoya qilishi [7, 8] aniqlangan. Fosfonatlarning Ca^{2+} ionlari bilan o‘zaro ta’siri esa kalsiyga boy suvlarda ularning xossalarini belgilovchi muhim omil hisoblanadi [9]. Mahalliy xomashyo asosida tuz cho‘kmalari va ichki korroziyaga qarshi kompozitsiyalar [10], shuningdek polielektrolit komplekslari asosidagi ingibitorlar [11] ham taklif etilgan. Avvalgi ishlarimizda OEDF va NTF ning rux kompleksonatlarini natriy sinkat orqali birgalikda olish usuli ishlab chiqilgan va ularning ingibirlovchi xossalari baholangan [12–15]. Biroq bu kompleksonatlar va ularning «Uniflok» polimer reagenti bilan kompozitsiyalari po‘lat sirtida qanday adsorbsiyalanishi, bunga muhit pH i hamda qatlam suvlarida ko‘p uchraydigan Ca^{2+} ionlari qanday ta’sir qilishi yetarlicha o‘rganilmagan.

Ushbu ishning maqsadi — rux kompleksonatlari, «Uniflok» va ular asosidagi kompozitsiyalarning po‘lat elektrodda adsorbsiyasini pH 2–10 oralig‘ida tadqiq etish, adsorbsiya parametrlarini aniqlash hamda Zn^{2+} va Ca^{2+} ionlarining ta’sirini baholash.

Materiallar va metodlar

Tadqiqot obyektlari 1-jadvalda keltirilgan. OEDF va NTF ning rux kompleksonatlari (II, III, V) [13, 14] da bayon etilgan usulda ikki bosqichda olindi: dastlab rux oksidi va natriy gidroksiddan 60–70 °C da natriy sinkat hosil qilindi, so‘ngra u OEDF, NTF yoki ularning aralashmasi bilan 30–35 °C da reaksiyaga kiritildi (V namunaning unumi 96,5 %). V namunada OEDF : NTF molyar nisbati 1 : 1, fosfonatlar yig‘indisi va rux oksidining molyar nisbati esa 1 : 1 ni tashkil etdi. «Uniflok» — «Navoiyazot» AJ da ishlab chiqariladigan, tarkibida karboksil, amid va imin guruhlari bo‘lgan suvda eruvchan polimer reagent. Rux bilan modifikatsiyalangan «Uniflok» (IV) olish uchun «Uniflok» ning suvli eritmasiga aralashtirib turgan holda natriy sinkat suspenziyasi qo‘shildi, harorat asta-sekin 70 °C gacha ko‘tarilib, bir jinsli massa hosil bo‘lgunicha aralashtirildi; natijada to‘q sariq-qizg‘ish rangli, suvda eruvchan mahsulot olindi. VI kompozitsiya tayyor IV eritmasiga V

1-jadval. Tadqiqot obyektlari

Kod	Ingibitor	Olinishi
I	«Uniflok»	Tovar mahsulot («Navoiyazot» AJ)
II	Zn^{2+}–OEDF	Natriy sinkat + OEDF
III	Zn^{2+}–NTF	Natriy sinkat + NTF
IV	Zn^{2+}–«Uniflok»	Natriy sinkat + «Uniflok», 70 °C gacha
V	Zn^{2+}(OEDF+NTF)	Natriy sinkat + (OEDF+NTF), 30–35 °C
VI	Zn^{2+}(«Uniflok»+OEDF+NTF)	IV va V komponentlar kompozitsiyasi

ni qo‘shib, bir jinsli eritma hosil bo‘lgunicha aralashtirish orqali tayyorlandi.

Ingibitorlarning po‘latga adsorbsiyasi kulonostatik usulda, statsionar potensialda ($E = -0{,}49$ V, to‘yingan kumush xlorid elektrodiga nisbatan) qo‘sh elektr qatlam (QEQ) sig‘imini o‘lchash orqali o‘rganildi. Ishchi elektrod St.20 markali uglerodli po‘latdan tayyorlandi; uning sirti korund qog‘ozida (donadorligi 1500 va 3000) silliqlandi, etanol bilan yog‘sizlantirildi va distillangan suvda yuvildi. Fon eritmasi sifatida ikki marta distillangan suvda tayyorlangan 3 % li NaCl eritmasidan foydalanildi; o‘lchovlar pH 2, 4, 6, 8 va 10 da, 24 °C haroratda o‘tkazildi. Ingibitorlar konsentratsiyasi $(0–10)\cdot10^{-3}$ mol/m^3 oralig‘ida o‘zgartirildi.

Elektrod sirtining adsorbat bilan to‘lish darajasi (θ) Frumkinning ikki parallel kondensator modeli bo‘yicha hisoblandi [16]:

$$\theta = \frac{C_0 - C_i}{C_0 - C'} \tag{1}$$

bu yerda C_0 — fon eritmasidagi, C_i — ingibitor qo‘shilgan eritmadagi, C' — sirt to‘liq qoplanganda QEQ sig‘imi, μF/sm^2. Adsorbsiya izotermalari Lengmyur (2) va Frumkin (3) tenglamalari koordinatalarida tahlil qilindi:

$$\frac{\theta}{1-\theta} = Bc \tag{2}$$

$$Bc = \frac{\theta}{1-\theta}\exp(-2a\theta) \tag{3}$$

bu yerda B — adsorbsion muvozanat konstantasi, m^3/mol; c — ingibitor konsentratsiyasi, mol/m^3; a — adsorbsiyalangan zarrachalar orasidagi o‘zaro ta’sir parametri. Standart adsorbsiya Gibbs energiyasi $T = 297{,}15$ K da quyidagi tenglama bo‘yicha hisoblandi:

$$\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -RT \cdot \ln(55{,}5 \cdot B) \tag{4}$$

bu yerda 55,5 — suvning molyar konsentratsiyasi, mol/dm^3; B — dm^3/mol da ifodalangan. Zn^{2+} va Ca^{2+} ionlarining ta’siri 3 % li NaCl eritmasida (pH 6, 24 °C) o‘rganildi: fon eritmasiga $ZnSO_4$ va/yoki $CaCl_2$ (1 g/l) qo‘shildi.

Natijalar va muhokama

O‘rganilgan barcha ingibitorlar pH 2–10 oralig‘ida konsentratsiya ortishi bilan po‘lat elektrod QEQ sig‘imini kamaytiradi va sig‘im ma’lum konsentratsiyadan keyin doimiy qiymatga yetadi. Bu ingibitorlarning po‘lat sirtida adsorbsiyalanib, suv molekulalarini siqib chiqarishidan dalolat beradi. Sirt to‘liq qoplangandagi sig‘im (C') qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Turli pH larda po‘lat sirti ingibitor bilan to‘liq qoplanganda QEQ sig‘imi (C', μF/sm^2), 24 °C

Ingibitor	pH				
	2	4	6	8	10
I	9,7	13,3	13,4	15,0	27,3
II	4,1	5,2	10,3	8,7	6,7
III	4,6	4,9	5,0	8,2	12,1
IV	9,5	5,3	6,0	6,0	12,8
V	4,0	3,4	2,5	2,0	5,4
VI	4,1	7,0	11,6	12,0	5,2

Yassi kondensator modeliga ko‘ra QEQ sig‘imi zich qatlamning dielektrik o‘tkazuvchanligiga to‘g‘ri, qalinligiga esa teskari proporsional. Shu sababli C' ning kichik qiymatlari zichroq va qalinroq adsorbsion qatlamga mos keladi. «Uniflok» (I) uchun C' pH 2 dan 10 gacha 9,7 dan 27,3 μF/sm^2 gacha ortadi, ya’ni ishqoriy muhitda uning adsorbsion qatlami bo‘shashadi va ko‘proq gidratlanadi. «Uniflok» rux bilan modifikatsiyalanganda (IV) pH 4–8 da C' 13,3–15,0 dan 5,3–6,0 μF/sm^2 gacha kamayadi. Eng kichik qiymatlar Zn^{2+}(OEDF+NTF) (V) uchun olindi: 2,0–5,4 μF/sm^2, minimum pH 8 da. VI kompozitsiyada C' pH 2 va 10 da kichik (4,1 va 5,2 μF/sm^2), pH 6–8 da esa nisbatan katta (11,6–12,0 μF/sm^2). Bu polimer va fosfonat komponentlari birgalikda adsorbsiyalanganda qatlam tuzilishi pH ga bog‘liq ravishda o‘zgarishini ko‘rsatadi.

Sirt qoplanish darajasining konsentratsiyaga bog‘liqligi barcha tizimlar uchun deyarli butun pH oralig‘ida Lengmyur tenglamasi (2) koordinatalarida chiziqli. Istisno — ishqoriy muhitdagi «Uniflok» (pH 10) bo‘lib, uning adsorbsiyasi adsorbsiyalangan makromolekula segmentlarining o‘zaro ta’sirini hisobga oluvchi Frumkin tenglamasi (3) bilan yaxshiroq tavsiflanadi. Izotermalardan aniqlangan adsorbsion muvozanat konstantalari va (4) tenglama bo‘yicha hisoblangan adsorbsiya Gibbs energiyalari 3-jadvalda keltirilgan.

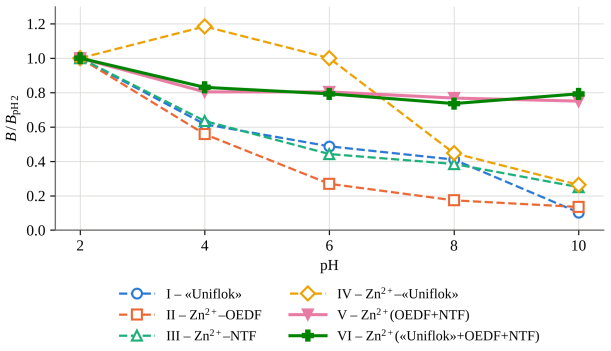
3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, alohida ingibitorlar (I–IV) uchun B qiymati pH ortishi bilan kamayadi: pH 2 dan 10 gacha «Uniflok» uchun 9,8 marta, Zn^{2+}–OEDF uchun 7,4 marta, Zn^{2+}–NTF va Zn^{2+}–«Uniflok» uchun 3,8–4,0 marta. Buni pH ortishi bilan adsorbat zarrachalari zaryadi va gidratlanishining o‘zgarishi hamda sirtda OH^- ionlari bilan raqobatning kuchayishi bilan izohlash mumkin.

Rux bilan modifikatsiyalash «Uniflok» adsorbsiyasini sezilarli kuchaytiradi: B pH 4 da 2,4 dan 4,5 ga, pH 6 da 1,9 dan 3,8 ga, pH 10 da 0,4 dan $1{,}0 \cdot 10^3$ m^3/mol ga ortadi. pH 2 da esa I va IV uchun B deyarli bir xil (3,9 va $3{,}8 \cdot 10^3$ m^3/mol): kuchli kislotali muhitda rux kompleksi barqaror emas va adsorbsiya erkin polimer xossalari bilan belgilanadi.

Eng muhim natija — Zn^{2+}(OEDF+NTF) (V) va Zn^{2+}(«Uniflok»+OEDF+NTF) (VI) uchun B ning pH ga deyarli bog‘liq emasligi: pH 4–10 da B mos ravishda 4,2–4,5 va 3,9–$4{,}4 \cdot 10^3$ m^3/mol. 1-rasmda B qiymatlari pH 2 dagi qiymatga nisbatan keltirilgan: pH 10 da V va VI tizimlar boshlang‘ich qiymatning 75–79 % ini saqlaydi, alohida ingibitorlar esa atigi 10–26 % ini. Bu, ehtimol, OEDF va NTF ning rux bilan keng pH oralig‘ida barqaror aralash ligandli komplekslar hosil qilishi va Zn^{2+} ionlarining fosfonat guruhlari bilan metall sirti orasida ko‘prik vazifasini bajarishi bilan bog‘liq [4, 8].

3-jadval. Po‘lat elektrodda ingibitorlarning adsorbsion muvozanat konstantasi ($B \cdot 10^{-3}$, m^3/mol) va standart adsorbsiya Gibbs energiyasi ($-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$, kJ/mol), 24 °C

Ingibitor	Ko‘rsatkich	pH				
		2	4	6	8	10
I	$B \cdot 10^{-3}$	3,9	2,4	1,9	1,6	0,4
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	47,4	46,2	45,6	45,2	41,8
II	$B \cdot 10^{-3}$	5,2	2,9	1,4	0,9	0,7
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	48,1	46,7	44,9	43,8	43,2
III	$B \cdot 10^{-3}$	5,2	3,3	2,3	2,0	1,3
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	48,1	47,0	46,1	45,8	44,7
IV	$B \cdot 10^{-3}$	3,8	4,5	3,8	1,7	1,0
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	47,4	47,8	47,4	45,4	44,1
V	$B \cdot 10^{-3}$	5,6	4,5	4,5	4,3	4,2
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	48,3	47,8	47,8	47,7	47,6
VI	$B \cdot 10^{-3}$	5,3	4,4	4,2	3,9	4,2
	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$	48,2	47,7	47,6	47,4	47,6



1-rasm. Po‘lat elektrodda ingibitorlar adsorbsion muvozanat konstantasining nisbiy qiymati ($B/B_{\text{pH 2}}$) ning muhit pH iga bog‘liqligi (24 °C)

Adsorbsiya Gibbs energiyasining qiymatlari –41,8 … –48,3 kJ/mol oralig‘ida. Odatda $|\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}| > 40$ kJ/mol bo‘lgan qiymatlar adsorbat va metall sirti o‘rtasida koordinatsion bog‘lar hosil bo‘lishi, ya’ni kimyoviy adsorbsiya ulushi yuqoriligi bilan izohlanadi. Bu fosfonat guruhlaridagi kislorod va NTF dagi azot donor atomlarining sirtdagi temir atomlari bilan bog‘lanishiga mos keladi. V va VI tizimlar uchun $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$ butun pH oralig‘ida deyarli o‘zgarmaydi (–47,4 … –48,3 kJ/mol).

Qatlam suvlari tarkibida Ca^{2+} ionlari ko‘p bo‘lishini hisobga olib (tahlillarimizga ko‘ra, Sho‘rtan koni qatlam suvida Ca^{2+} miqdori 6012 mg/l ni tashkil etadi), 3 % li NaCl eritmasida Zn^{2+} va Ca^{2+} ionlarining adsorbsiyaga ta’siri o‘rganildi (4-jadval).

4-jadval. 3 % li NaCl eritmasida (pH 6, 24 °C) Zn^{2+} va Ca^{2+} ionlarining po‘lat elektrodda ingibitorlar adsorbsiyasi parametrlariga ta’siri

Ingibitor	Qo‘shilgan ion	C', μF/sm^2	$B \cdot 10^{-3}$, m^3/mol	$-\Delta G^{\circ}_{\text{ads}}$, kJ/mol
OEDF+NTF	—	13,4	2,0	45,8
	Zn^{2+}	6,0	3,8	47,4
	Ca^{2+}	4,0	3,2	46,9
	Zn^{2+} + Ca^{2+}	3,8	3,5	47,1
«Uniflok»	—	10,3	1,4	44,9
	Zn^{2+}	2,5	4,5	47,8
	Ca^{2+}	4,3	1,8	45,5
	Zn^{2+} + Ca^{2+}	4,2	5,6	48,3
«Uniflok»+OEDF+NTF	—	5,0	2,3	46,1
	Zn^{2+}	11,6	3,1	46,8
	Ca^{2+}	6,3	2,8	46,6
	Zn^{2+} + Ca^{2+}	8,2	3,2	46,9

Zn^{2+} ionlari uchala tizimda ham B ni oshiradi: OEDF+NTF uchun 1,9 marta, «Uniflok» uchun 3,2 marta, «Uniflok»+OEDF+NTF uchun 1,35 marta. OEDF+NTF va «Uniflok» tizimlarida bunga C' ning keskin kamayishi (mos ravishda 13,4 dan 6,0 ga va 10,3 dan 2,5 μF/sm^2 ga) mos keladi, ya’ni zichroq qatlam hosil bo‘ladi. «Uniflok»+OEDF+NTF tizimida esa B ortgani holda C' 5,0 dan 11,6 μF/sm^2 gacha ortadi; bu qatlam tuzilishining o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin va qo‘shimcha tadqiqot talab etadi.

Amaliy jihatdan muhim natija shundaki, Ca^{2+} ionlari (1 g/l) adsorbsiyani susaytirmaydi, aksincha, uchala tizimda ham B ni 1,2–1,6 marta oshiradi. Buni fosfonat guruhlari va «Uniflok» funksional guruhlarining Ca^{2+} bilan kompleks hosil qilishi bilan izohlash mumkin [9]. Zn^{2+} va Ca^{2+} birgalikda bo‘lganda eng katta qiymat «Uniflok» tizimida olindi: $B = 5{,}6 \cdot 10^3$ m^3/mol, $\Delta G^{\circ}_{\text{ads}} = -48{,}3$ kJ/mol.

Olingan natijalar Zn^{2+}(OEDF+NTF) va Zn^{2+}(«Uniflok»+OEDF+NTF) kompozitsiyalarining po‘lat sirtida keng pH oralig‘ida va kalsiyga boy muhitda barqaror adsorbsiyalanishini ko‘rsatadi. Bu ularni pH qiymati o‘zgaruvchan bo‘lgan neft-gaz koni suvlarida qo‘llash uchun istiqbolli qiladi. Keyingi bosqichda ushbu kompozitsiyalarning himoya samaradorligini haqiqiy qatlam suvlarida, CO_2 va H_2S ishtirokida hamda yuqori haroratlarda baholash rejalashtirilgan.

Xulosa

Kulonostatik usul bilan OEDF va NTF rux kompleksonatlari, «Uniflok» va ular asosidagi kompozitsiyalarning po‘lat elektrodda pH 2–10 oralig‘ida adsorbsiyalanishi aniqlandi; adsorbsiya Lengmyur izotermasiga (ishqoriy muhitdagi «Uniflok» uchun — Frumkin izotermasiga) bo‘ysunadi. Alohida ingibitorlarning adsorbsion muvozanat konstantasi pH 2 dan 10 gacha 4–10 marta kamayadi, Zn^{2+}(OEDF+NTF) va Zn^{2+}(«Uniflok»+OEDF+NTF) uchun esa pH 4–10 da $(3{,}9–4{,}5) \cdot 10^3$ m^3/mol darajasida saqlanadi. Standart adsorbsiya Gibbs energiyasi –41,8 … –48,3 kJ/mol bo‘lib, kimyoviy adsorbsiya ulushi yuqoriligini ko‘rsatadi. Zn^{2+}(OEDF+NTF) eng kichik QEQ sig‘imini (2,0–5,4 μF/sm^2) ta’minlab, eng zich adsorbsion qatlam hosil qiladi. Zn^{2+} ionlari «Uniflok» adsorbsion konstantasini 3,2 marta oshiradi, Ca^{2+} ionlari esa adsorbsiyani susaytirmaydi. Bu natijalar ushbu kompozitsiyalarni kalsiyga boy qatlam suvlarida qo‘llash istiqbolli ekanini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Finšgar M., Jackson J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review // Corrosion Science. — 2014. — Vol. 86. — P. 17–41. — DOI: https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044.

[2] Kuznetsov Yu.I. Physicochemical aspects of metal corrosion inhibition in aqueous solutions // Russian Chemical Reviews. — 2004. — Vol. 73, № 1. — P. 75–87. — DOI: https://doi.org/10.1070/RC2004v073n01ABEH000864.

[3] Дрикер Б.Н., Цирульникова Н.В., Протазанов А.А., Стягов Н.Н. Ингибиторы солеотложений и коррозии на основе органофосфонатов // Практика противокоррозионной защиты. — 2022. — Т. 27, № 4. — С. 26–35. — DOI: https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2022.106.4-3.

[4] Gonzalez Y., Lafont M.C., Pébère N., Moran F. A synergistic effect between zinc salt and phosphonic acid for corrosion inhibition of a carbon steel // Journal of Applied Electrochemistry. — 1996. — Vol. 26. — P. 1259–1265. — DOI: https://doi.org/10.1007/BF00249928.

[5] Awad H.S. The effect of zinc-to-HEDP molar ratio on the effectiveness of zinc-1,hydroxyethylidene-1,1 diphosphonic acid in inhibiting corrosion of carbon steel in neutral solutions // Anti-Corrosion Methods and Materials. — 2005. — Vol. 52, № 1. — P. 22–28.

[6] Telegdi J., Shaglouf M.M., Shaban A., Kármán F.H., Bertóti I., Mohai M., Kálmán E. Influence of cations on the corrosion inhibition efficiency of aminophosphonic acid // Electrochimica Acta. — 2001. — Vol. 46, № 24–25. — P. 3791–3799. — DOI: https://doi.org/10.1016/S0013-4686(01)00666-1.

[7] Кузнецов Ю.И., Казанская Г.Ю., Цирульникова Н.В. Аминофосфонатные ингибиторы коррозии стали // Защита металлов. — 2003. — Т. 39, № 2. — С. 141–145.

[8] Дрикер Б.Н., Сикорский И.П., Цирульникова Н.В. Предотвращение коррозии конструкционных сталей цинковыми комплексонатами органических фосфонатов // Практика противокоррозионной защиты. — 2007. — № 1 (43). — С. 39–43.

[9] Demadis K.D., Lykoudis P. Chemistry of organophosphonate scale growth inhibitors: 3. Physicochemical aspects of 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylate (PBTC) and its effect on $CaCO_3$ crystal growth // Bioinorganic Chemistry and Applications. — 2005. — Vol. 3, № 3–4. — P. 135–149. — DOI: https://doi.org/10.1155/BCA.2005.135.

[10] Kadirov H., Turabdjanov S. Composition for protecting technological equipment against salt deposits and internal corrosion // Chemistry and Chemical Engineering. — 2021. — № 2. — Article 3. — DOI: https://doi.org/10.51348/SHCU5202.

[11] Данилов Ф., Образцов В., Амируллоева Н., Данилов С., Балиоз А. Полиэлектролитные комплексы — новый подход к разработке ингибиторов коррозии // Фізико-хімічна механіка матеріалів. — 2008. — № 7. — С. 501–506.

[12] Obidov Sh.B., Qodirov H.I., Rahimov X.N., Mashaev E.E. Oksietilidendifosfon kislota asosidagi korroziya ingibitorlarini olish // Journal of Future. — 2025. — Vol. 1, Iss. 1. — P. 22–33. — DOI: https://doi.org/10.66960/7ncjhg82.

[13] Обидов Ш.Б., Қодиров Х.И., Эргашев Ж.Р., Омонов Ш.А. Zn-НТФ+ОЭДФ синтези ва улар асосидаги самарали коррозия ингибиторлари композициялари // Journal of Future. — 2025. — Vol. 1, Iss. 1. — P. 42–47. — DOI: https://doi.org/10.66960/v5txbf43.

[14] Obidov Sh.B., Raximov X.N., Kadirov X.I., Turabdjanov S.M. Synergic efficiency of organophosphonates in the synthesis and corrosion inhibition of zinc complexonates // Technical Science and Innovation. — 2024. — № 4. — P. 5–9.

[15] Obidov Sh.B., Raximov X.N., Kadirov X.I., Turabdjanov S.M., Xolmatova F.I. Obtaining corrosion inhibitors in the presence of oxyethylidene diphosphonic acids // The European Journal of Technical and Natural Sciences. — 2024. — № 5–6. — P. 14–21. — DOI: https://doi.org/10.29013/EJTNS-24-5.6-14-21.

[16] Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Батраков В.В. Адсорбция органических соединений на электродах. — М.: Наука, 1968. — 334 с.