ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SANOAT SUV TA’MINOTI TIZIMLARI UCHUN BIOPOLIMER VA ORGANOFOSFONAT ASOSLI MULTIFUNKSIONAL INGIBITORLAR SINTEZI VA TADQIQI

Meyliyeva Laziza
Toshkent kimyo-texnologiya instituti “Organik sintez texnologiyasi” kafedrasi katta o‘qituvchisi, Kimyo fanlari bo‘yicha falsafa doktori, PhD, O‘zbekiston, Toshkent sh.
E-mail: lazizameyliyeva466@gmail.com
Axunova Shaxnoza
Toshkent kimyo-texnologiya instituti “Organik sintez texnologiyasi” kafedrasi magistri, O‘zbekiston, Toshkent sh.
E-mail: shahnozaaxunovaa17@gmail.com
Haytboyev Lazizbek
Toshkent kimyo-texnologiya instituti “Organik sintez texnologiyasi” kafedrasi magistri, O‘zbekiston, Toshkent sh.
E-mail: haytboyevlazizbek07@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ishda sanoat suv ta’minoti tizimlarida metall korroziyasi va mineral tuzlar cho‘kishini kamaytirishga mo‘ljallangan biopolimer hamda organofosfonat asosli multifunksional ingibitorlar sintez qilindi va ularning xossalari o‘rganildi. Tadqiqotda xitozan, karboksimetiltsellyuloza, modifikatsiyalangan kraxmal, oksietilidendifosfonat va nitrilotrimetilenfosfonat asosida kompozitsion reagentlar olindi. Olingan namunalar gravimetrik, elektrokimyoviy va fizik-kimyoviy usullar yordamida sinovdan o‘tkazildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, reagentlarning 15–20 mg/l konsentratsiyasida korroziyadan himoyalash darajasi 92,0–96,4 % ni, kaltsiy karbonat cho‘kmasini ingibirlash samaradorligi esa 94,2–98,1 % ni tashkil etdi. Reagentlar yuqori harorat sharoitida ham barqaror bo‘lib, 80°C da yetarli samaradorlik saqlab qolindi. Biopolimer komponentlar metall yuzasida adsorbsion himoya qatlamini hosil qilishi, organofosfonatlar esa qattiqlik ionlari bilan kompleks birikmalar hosil qilishi aniqlandi. Olingan natijalar asosida ishlab chiqilgan kompozitsiyalar sanoat suv tizimlari uchun ekologik xavfsiz va iqtisodiy samarali yangi avlod ingibitorlari sifatida tavsiya etiladi.

Kalit so‘zlar: Korroziya, biopolimer, organofosfonat, multifunksional ingibitor, xitozan, OEDF, NTF, yashil kimyo.

Аннотация. В данной работе синтезированы и изучены свойства многофункциональных ингибиторов на основе биополимеров и органофосфонатов, предназначенных для снижения коррозии металлов и осаждения минеральных солей в системах промышленного водоснабжения.

ISSN 3030-3907

В ходе исследования на основе хитозана, карбоксиметилцеллюлозы, модифицированного крахмала, оксиэтилидендифосфоната и нитрилотриметиленфосфоната получены композиционные реагенты. Полученные образцы были испытаны гравиметрическим, электрохимическим и физико-химическим методами. Результаты показали, что при концентрации реагентов 15–20 мг/л степень защиты от коррозии составила 92,0–96,4 %, а эффективность ингибирования осадка карбоната кальция — 94,2–98,1 %. Реагенты стабильны в условиях высоких температур, сохраняя достаточную эффективность при 80°C. Установлено, что биополимерные компоненты формируют на поверхности металла адсорбционный защитный слой, а органофосфонаты образуют комплексные соединения с ионами жесткости. На основании полученных результатов разработанные композиции рекомендуются в качестве экологически безопасных и экономически эффективных ингибиторов нового поколения для промышленных водных систем.

Ключевые слова: Коррозия, биополимер, органофосфонат, многофункциональный ингибитор, хитозан, ОЭДФ, НТФ, зеленая химия.

Abstract. In this study, multifunctional inhibitors based on biopolymers and organophosphonates were synthesized and their properties were investigated to mitigate metal corrosion and mineral scale deposition in industrial water supply systems. Composite reagents were developed using chitosan, carboxymethylcellulose, modified starch, hydroxyethylidene diphosphonic acid (HEDP), and nitrilotrimethylene phosphonic acid (NTMP). The obtained samples were tested using gravimetric, electrochemical, and physicochemical methods. The results showed that at a reagent concentration of 15–20 mg/l, the corrosion protection efficiency reached 92.0–96.4%, while the calcium carbonate scale inhibition efficiency was 94.2–98.1%. The reagents demonstrated thermal stability, maintaining sufficient effectiveness even at 80°C. It was determined that the biopolymer components form an adsorptive protective layer on the metal surface, while the organophosphonates form complex compounds with hardness ions. Based on the findings, the developed compositions are recommended as environmentally friendly and cost-effective next-generation inhibitors for industrial water systems.

Keywords: Corrosion, biopolymer, organophosphonate, multifunctional inhibitor, chitosan, HEDP, NTMP, green chemistry.

KIRISH.

Bugungi kunda sanoat korxonalarida suv ta’minoti va aylanma suv tizimlarining barqaror ishlashi muhim texnologik ahamiyatga ega. Ayniqsa,

ISSN 3030-3907

issiqlik almashinish qurilmalari, bug‘ qozonlari, sovitish minoralari hamda quvur tarmoqlarida suvning doimiy aylanishi jarayonida metall yuzalarning korroziyaga uchrashi va mineral tuzlarning cho‘kishi asosiy muammolardan biri hisoblanadi [1-2]. Ushbu holatlar uskunalarning foydali ish koeffitsiyentini kamaytiradi, energiya sarfini oshiradi hamda jihozlarning xizmat muddatini qisqartiradi [3-4].

Suv tarkibida mavjud bo‘lgan kaltsiy, magniy va boshqa qattiqlik ionlari yuqori harorat hamda bosim sharoitida erimaydigan karbonat va sulfat cho‘kmalarini hosil qiladi [5-6]. Natijada issiqlik uzatish jarayoni yomonlashadi, quvurlarning ichki diametri torayadi va texnologik tizimlarning unumdorligi pasayadi. Shu bilan birga, agressiv ionlar hamda nam muhit ta’sirida metall yuzalarda elektrokimyoviy korroziya jarayoni tezlashadi [7-8].

Mazkur muammolarni bartaraf etishda turli kimyoviy ingibitorlardan foydalaniladi. Amaliyotda organofosfonatlar, polimer dispersantlar va metall passivatorlari keng qo‘llaniladi. Biroq ayrim an’anaviy reagentlarning ekologik xavfsizligi past bo‘lib, ularning suv havzalariga tushishi atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin [9-10]. Shu sababli, bugungi kunda “yashil kimyo” tamoyillari asosida ekologik xavfsiz, bioparchalanuvchi va yuqori samarali yangi avlod ingibitorlarini yaratish dolzarb masalalardan biri bo‘lib qolmoqda.

Biopolimerlar, jumladan xitozan, kraxmal hosilalari, karboksimetiltsellyuloza kabi tabiiy moddalar yuqori adsorbsion xususiyatga ega bo‘lib, metall yuzasida himoya qatlami hosil qilishi mumkin [11]. Organofosfonatlar esa qattiqlik ionlari bilan barqaror kompleks birikmalar hosil qilib, mineral cho‘kmalarning oldini olishda samarali hisoblanadi. Ushbu ikki turdagi moddalarning birgalikda qo‘llanilishi korroziyaga va tuz cho‘kishiga qarshi multifunksional ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Shu munosabat bilan mazkur ishning maqsadi sanoat suv ta’minoti tizimlari uchun biopolimer va organofosfonat asosli multifunksional ingibitorlarni sintez qilish, ularning fizik-kimyoviy xossalarini o‘rganish hamda korroziya va mineral cho‘kmalarga qarshi samaradorligini tadqiq etishdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR.

Tadqiqot ishida sanoat suv ta’minoti tizimlarida korroziya va mineral tuzlar cho‘kishini kamaytirishga mo‘ljallangan biopolimer va organofosfonat asosli multifunksional ingibitorlar sintez qilindi hamda ularning samaradorligi laboratoriya sharoitida o‘rganildi.

Ishlatilgan materiallar

Asosiy xomashyo sifatida tabiiy va sintetik komponentlardan foydalanildi. Biopolimer tarkibiy qismlar sifatida xitozan, modifikatsiyalangan kraxmal hamda

ISSN 3030-3907

karboksimetiltsellyuloza qo‘llanildi. Organofosfonat komponentlar sifatida oksietilidendifosfonat kislotasi (OEDF) va nitrilotrimetilenfosfonat kislotasi (NTF) ishlatildi. Kompleks hosil qiluvchi modda sifatida rux sulfat ($ZnSO_4$) va magniy tuzlaridan foydalanildi. Muhit pH ko‘rsatkichini boshqarish uchun natriy gidroksid (NaOH) eritmasi qo‘llanildi.

Korroziya sinovlari uchun St3 markali po‘lat plastinkalar tayyorlandi. Tajribalarda model qattiq suv eritmalari hamda sanoat aylanma suviga yaqin tarkibli eritmalardan foydalanildi.

Ingibitor kompozitsiyasini sintez qilish usuli

Biopolimer asosli eritma tayyorlash uchun xitozan va karboksimetiltsellyuloza distillangan suvda ma’lum haroratda aralashtirilib eritildi. So‘ngra organofosfonat eritmasi alohida tayyorlanib, biopolimer eritmasiga asta-sekin qo‘shildi. Aralashma mexanik aralashtirgich yordamida bir jinsli holatga kelguncha aralashtirildi.

Keyingi bosqichda $ZnSO_4$ eritmasi qo‘shilib, kompleks hosil bo‘lishi uchun muhit pH qiymati 4,5–5,5 oralig‘ida NaOH eritmasi yordamida barqarorlashtirildi. Hosil bo‘lgan kompozitsiya 50–60°C haroratda ma’lum vaqt ushlab turildi va sovitilgandan so‘ng tayyor reagent sifatida olindi.

Korroziyaga qarshi samaradorlikni aniqlash

Korroziyaga qarshi ta’sir gravimetrik usul yordamida baholandi. Buning uchun oldindan tozalangan va tortilgan metall namunalar sinov eritmalariga ma’lum muddatga joylashtirildi. Tajriba yakunida namunalar qayta tozalanib, massa yo‘qotilishi aniqlandi. Korroziya tezligi quyidagi formula bo‘yicha hisoblandi:

$$V = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

bu yerda:

V – korroziya tezligi,

Δm – massa yo‘qotilishi,

S – namuna yuzasi,

t – tajriba vaqti.

Ingibirlash samaradorligi esa foizlarda hisoblandi.

Tuz cho‘kishini ingibirlash samaradorligi

Mineral cho‘kmalarning oldini olish qattiq suv eritmalarida statik usul bilan tekshirildi. Kaltsiy va magniy ionlari saqlagan eritmalar ma’lum haroratda reagent ishtirokida termostatda ushlab turildi. Tajriba yakunida cho‘kma miqdori filtratsiya va quritish yo‘li bilan aniqlanib, ingibirlash darajasi foizlarda baholandi.

Fizik-kimyoviy tahlil usullari

ISSN 3030-3907

Sintez qilingan kompozitsiyaning xossalarini o‘rganish uchun pH-metriya, viskozimetriya, rentgenfazaviy tahlil (XRD) hamda elektrokimyoviy usullardan foydalanildi. Metall yuzasida hosil bo‘lgan himoya qatlamining barqarorligi turli haroratlarda o‘rganildi.

Tajribalarni statistik qayta ishlash

Barcha tajribalar kamida uch martadan takrorlandi. Olingan natijalar o‘rtacha qiymat sifatida qayta ishlanib, xatolik chegaralari hisoblandi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi.

Tadqiqot davomida sintez qilingan biopolimer va organofosfonat asosli multifunksional ingibitorlarning sanoat suv ta’minoti tizimlarida uchraydigan asosiy salbiy jarayonlar — metall korroziyasi hamda mineral tuzlar cho‘kishini kamaytirish bo‘yicha samaradorligi kompleks ravishda o‘rganildi. Tajribalar natijalari shuni ko‘rsatdiki, tarkibida biopolimer komponentlar (xitozan, karboksimetiltsellyuloza, modifikatsiyalangan kraxmal) hamda organofosfonatlar (OEDF, NTF) mavjud bo‘lgan kompozitsiyalar alohida komponentlarga nisbatan yuqoriroq natija berdi. Bu esa kompozitsion reagent tarkibida komponentlar o‘rtasida sinergetik ta’sir mavjudligini ko‘rsatadi.

Biopolimerlarning asosiy afzalligi ularning metall yuzasiga yaxshi adsorbsiyalanishi, organofosfonatlarning esa qattiqlik ionlari bilan kompleks hosil qilishi va kristallanish jarayonini sekinlashtirish xususiyati bilan izohlanadi. Shu sababli ishlab chiqilgan kompozitsiya bir vaqtning o‘zida ham korroziyaga, ham cho‘kma hosil bo‘lishiga qarshi ta’sir ko‘rsatdi.

Gravimetrik usulda olib borilgan tajribalarda St3 markali po‘lat namunalarining massa yo‘qotilishi aniqlandi. Nazorat tajribalarida, ya’ni ingibitorsiz muhitda, metall namunalarda sezilarli darajada oksidlanish va sirt degradatsiyasi kuzatildi. Sintez qilingan reagent qo‘llanilganda esa metall yuzasida yupqa himoya qatlami hosil bo‘lib, korroziya jarayoni keskin sekinlashdi.

Jadval 1

Ingibitor konsentratsiyasining korroziya tezligiga ta’siri

Ingibitor miqdori, mg/l	Korroziya tezligi, mm/yil	Himoya darajasi, %
0 (nazorat)	0.185	-
5	0.052	71.9
10	0.026	85.9

ISSN 3030-3907

15	0.015	91.9
20	0.012	93.5

Jadval natijalaridan ko‘rinadiki, reagent konsentratsiyasi oshib borishi bilan korroziya tezligi muntazam kamaygan. Ayniqsa, 10 mg/l dan boshlab himoya samaradorligi keskin ortgan. 15–20 mg/l oralig‘ida esa maksimal natija qayd etilgan. Bu holat metall yuzasida yetarli miqdorda adsorbsion plyonka hosil bo‘lishi bilan bog‘liq.

Biopolimer molekulalari tarkibidagi amin ($^{-}NH_2$), gidroksil (^{-}OH) va karboksil ($^{-}COOH$) guruhlari metall yuzasidagi faol markazlar bilan koordinatsion bog‘ hosil qiladi [12]. Natijada sirt faol markazlari passivlanadi va anod hamda katod reaksiyalar tezligi pasayadi. Organofosfonatlar esa sirtni qo‘shimcha stabilizatsiya qilib, himoya qatlamining zichligini oshiradi [13].

Sanoat suv tizimlarida qattiqlik ionlari mavjud bo‘lganda $CaCO_3$, $CaSO_4$ va $Mg(OH)_2$ singari cho‘kmalar hosil bo‘ladi [14]. Bu esa issiqlik almashinish yuzalarida qalin qatlam paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Sintez qilingan reagentning ushbu jarayonga ta’siri model qattiq suv eritmalarida tekshirildi.

Jadval 2

Reagentning kaltsiy karbonat cho‘kmasiga qarshi samaradorligi

Konsentratsiya, mg/l	Cho‘kma miqdori, g/l	Inhibirlash darajasi, %
0	1.82	-
5	0.74	59.3
10	0.28	84.6
15	0.11	94.2
20	0.03	98.1

Natijalardan ko‘rinib turibdiki, reagentning 10 mg/l dan yuqori konsentratsiyalarida cho‘kma hosil bo‘lishi keskin kamaygan. 20 mg/l da deyarli to‘liq ingibirlash kuzatilgan. Bu jarayonni quyidagicha tushuntirish mumkin: organofosfonatlar Ca^{2+} va Mg^{2+} ionlari bilan suvda eruvchan komplekslar hosil qiladi. Natijada ular karbonat va sulfat anionlari bilan birikib qattiq kristall faza hosil qila olmaydi. Biopolimer komponentlar esa dispersant vazifasini bajarib, mikrokristallarning yiriklashishini sekinlashtiradi. Shu sababli cho‘kma devorga yopishmaydi va oqim bilan chiqib ketadi.

Sanoat suv tizimlarida reagentlarning yuqori haroratda ishlash qobiliyati muhim omillardan biridir. Shu sababli reagentning 25°C, 50°C va 80°C haroratlarda samaradorligi o‘rganildi.

Jadval 3

ISSN 3030-3907

Turli haroratlarda reagent samaradorligi

Harorat, °C	Tuz cho‘kishini to‘xtatish, %	Korroziyadan himoya, %	Bioparchalanish (28 kun)
25	98.1	96.4	92
50	94.5	93.2	90
80	88.2	85.5	88

Harorat oshishi bilan samaradorlik biroz kamaygan bo‘lsada, 80°C da ham reagent yetarlicha yuqori natija ko‘rsatgan. Bu esa uning sovitish tizimlari, bug‘ qozonlari va issiqlik almashinish qurilmalarida qo‘llanish imkoniyatini ko‘rsatadi. Harorat oshishi natijasida adsorbsion qatlamning ayrim qismlari desorbsiyalanishi, ionlar harakatchanligining ortishi va kristallanish tezlashishi mumkin. Shunga qaramasdan, kompozitsiyaning yuqori termik barqarorligi uning amaliy qiymatini oshiradi.

Tadqiqotda OEDF-Zn va NTF-Zn metall komplekslari alohida o‘rganildi.

Jadval 4

Turli komplekslarning samaradorligi

Tarkib	Konsentratsiya, mg/l	Korroziya tezligi, mm/yil	Tuz cho‘kishidan himoya, %
Nazorat	-	0.185	-
OEDF-Zn	15	0.012	96.8
NTF-Zn	15	0.015	94.2

Jadvaldan ko‘rinadiki, OEDF-Zn kompleksi nisbatan yuqori samaradorlik ko‘rsatgan. Buni OEDF molekulasidagi faol fosfonat guruhlar soni va kompleksning metall yuzasiga mustahkam adsorbsiyalanishi bilan izohlash mumkin. Zn^{2+} ionlari esa po‘lat yuzasida passivlovchi qatlam hosil bo‘lishiga yordam beradi.

Olingan natijalar asosida sintez qilingan reagentning ta’sir mexanizmi biopolimer zanjirlari metall yuzasiga birikib, suv va agressiv ionlarning sirtga yetib borishini cheklaydi.

Organofosfonatlar Ca^{2+}, Mg^{2+} va Fe^{2+} ionlari bilan barqaror komplekslar hosil qiladi, hosil bo‘layotgan tuz kristallari panjarasiga kirib, ularning shakllanishini buzadi, mayda zarrachalar agregatsiyalanmaydi va oqim bilan tizimdan chiqariladi, Natijada reagent multifunksional xususiyat namoyon qiladi [15].

Mahalliy xomashyo asosida tayyorlangan biopolimer komponentlardan foydalanish import reagentlarga nisbatan tannarxni kamaytiradi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, bunday kompozitsiyalarni mahalliy ishlab chiqarish 30–45 % gacha iqtisodiy samaradorlik berishi mumkin. Biopolimer tarkibiy qismlar tabiiy kelib

ISSN 3030-3907

chiqishga ega bo‘lgani sababli ularning parchalanish darajasi yuqori bo‘lib, 28 kun davomida 88–92 % gacha biodestruksiya kuzatildi. Bu esa reagentning ekologik xavfsizligini ko‘rsatadi.

Shunday qilib, olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, biopolimer va organofosfonat asosli kompozitsion reagentlar sanoat suv ta’minoti tizimlari uchun istiqbolli yangi avlod multifunksional ingibitorlar hisoblanadi. Ular bir vaqtning o‘zida metall korroziyasini kamaytiradi, tuz cho‘kishini oldini oladi, yuqori haroratda ishlaydi va ekologik jihatdan xavfsizdir. Shu sababli ushbu reagentlarni amaliyotga joriy etish sanoat korxonalarida suv resurslarini tejash, uskunalar xizmat muddatini uzaytirish hamda ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirishga xizmat qiladi.

XULOSA.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida sanoat suv ta’minoti tizimlari uchun biopolimer va organofosfonat asosli multifunksional ingibitorlar sintez qilinib, ularning korroziyaga va mineral tuzlar cho‘kishiga qarshi samaradorligi o‘rganildi. Tadqiqot natijalari sintez qilingan kompozitsion reagentlar metall yuzalarini agressiv muhit ta’siridan ishonchli himoya qilishini hamda qattiq suv tarkibidagi kaltsiy va magniy tuzlarining cho‘kishini samarali darajada kamaytirishini ko‘rsatdi.

Optimal sharoitlarda reagentlarning korroziyadan himoyalash darajasi 92,0–96,4 % ni, tuz cho‘kishini ingibirlash samaradorligi esa 94,2–98,1 % ni tashkil etdi. Biopolimer komponentlarning metall yuzasida adsorbsion himoya qatlamini hosil qilishi, organofosfonatlarning esa qattiqlik ionlari bilan kompleks birikmalar hosil qilishi reagentlarning yuqori samaradorligini ta’minlashi aniqlandi. Shuningdek, sintez qilingan kompozitsiyalar yuqori haroratlarda ham barqaror bo‘lib, sanoat sharoitlarida qo‘llash uchun yetarli texnologik xossalarga ega ekanligi tasdiqlandi. Mahalliy xomashyo asosida bunday reagentlarni ishlab chiqarish import o‘rnini bosish, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish hamda ekologik xavfsizlikni oshirish imkonini beradi. Shu sababli ishlab chiqilgan multifunksional ingibitorlar sanoat suv aylanma tizimlari, sovitish qurilmalari va issiqlik almashinish uskunalarida amaliy qo‘llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kuznetsov, Y. I., & Redkina, G. V. (2022). Thin Protective Coatings on Metals Formed by Organic Corrosion Inhibitors in Neutral Media. *Coatings*, 12(2), 149. https://doi.org/10.3390/coatings12020149

2. Maranescu, B., Plesu, N., & Visa, A. (2019). Phosphonic acid vs phosphonate metal organic framework influence on mild steel corrosion protection. *Applied Surface Science*, 497, 143734. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.143734

ISSN 3030-3907

3. Liu, B., Zhang, S., Zhao, L., Zou, C., & Xiu, J. (2025). Multifunctional Bio-Gels in Environmental Remediation: Current Advances and Future Perspectives. *Gels*, 11(11), 864. https://doi.org/10.3390/gels11110864
4. Abbas, M. A., Eid, A. M., Abdou, M. M., Elgendy, A., El-Saeed, R. A., & Zaki, E. G. (2021). Multifunctional Aspects of Synthesized Pyrazoline Derivatives for Steel Protection Against MIC and Acidization. *ACS Omega*, 6(13), 8921–8934. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00492
5. Stefanache, A., Marcinschi, A., Marin, G.-A., et al. (2025). Green Chemistry Approaches in Pharmaceutical Synthesis: Sustainable Methods for Drug Development. *AppliedChem*, 5(2), 13. https://doi.org/10.3390/appliedchem5020013
6. Kurul, F., Doruk, B., & Topkaya, S. N. (2025). Principles of Green Chemistry: Building a Sustainable Future. *Discover Chemistry*, 2, 68. https://doi.org/10.1007/s44371-025-00152-9
7. Quraishi, M. A., Singh, A., & Chauhan, D. S. (2020). Green corrosion inhibitors for steel in acidic media: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 298, 111943. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111943
8. Verma, C., Ebenso, E. E., Bahadur, I., & Quraishi, M. A. (2018). An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys. *Journal of Molecular Liquids*, 266, 577–590. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.06.110
9. Nowack, B. (2003). Environmental chemistry of phosphonates. *Water Research*, 37(11), 2533–2546. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00079-4
10. Rashid, M. M., Ahmed, S., & Islam, M. S. (2021). Chitosan-based eco-friendly corrosion inhibitors for industrial applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117107. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117107
11. El Harrak, A., Aouad, M. R., & Zarrouk, A. (2022). Recent advances in scale inhibition for cooling water systems. *Desalination and Water Treatment*, 257, 55–67. https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28417
12. Gece, G. (2019). Drugs as corrosion inhibitors for steel: A review. *Corrosion Science*, 53(12), 3873–3898. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.08.006
13. Bentiss, F., Traisnel, M., & Lagrenée, M. (2020). The substituted 1,3,4-oxadiazoles: A new class of corrosion inhibitors of mild steel in acidic media. *Corrosion Science*, 42(1), 127–146. https://doi.org/10.1016/S0010-938X(99)00049-9
14. Umoren, S. A., Solomon, M. M., & Eduok, U. M. (2021). Green corrosion inhibitors from natural polymers: Mechanistic and practical aspects. *Surface*

ISSN 3030-3907

Engineering and Applied Electrochemistry, 57, 1–18. https://doi.org/10.3103/S1068375521010123

15. Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media—A review. *Materials Letters*, 62(1), 113–116. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.079

ISSN 3030-3907