

UDK 628.16

**ICHIMLIK SUVINI TOZALASHNING KIMYOVIY USULLARI:  
ILMIY-NAZARIY ASOSLAR VA AMALIY TAVSIYALAR**

**ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ:  
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**CHEMICAL METHODS OF DRINKING WATER PURIFICATION:  
SCIENTIFIC-THEORETICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS**

**Ashurova Hulkar Ilhom qizi**

*Ilmiy rahbar: Tojiboyeva Iroda Muhammadyunosovna  
Toshkent davlat tibbiyot universiteti, Toshkent, O`zbekiston*

*Tibbiy va biologik kimyo kafedrası*

*hulkarashurova60@gmail.com +998973830729*

*tojiboyevairoda032@gmail.com +998975302124*

**Annotatsiya:** *Mazkur maqolada ichimlik suvini kimyoviy usullarda tozalashning nazariy asoslari va amaliy jihatlariga oid ilmiy tahlil bayon etilgan. Suvni xlor birikmalari, ozon, kaliy permanganat va xlor dioksid yordamida dezinfeksiyalash usullari, ularning kimyoviy mexanizmlari hamda dezinfeksiya samaradorligi ko'rsatkichlari tadqiq etildi. Koagulyatsiya va flokulatsiya jarayonlarida alyuminiy va temir tuzlarining ishtirokidagi kimyoviy reaksiyalar batafsil ko'rib chiqildi. Suvda erigan og'ir metal kationlari — qo'rg'oshin, kadmiy, mis, mishyak — ning cho'ktirish va ionit sorbentlar yordamida ajratib olinishi ilmiy adabiyotlar asosida tizimli ravishda yoritildi. Tadqiqot natijalari zamonaviy suv ta'minoti amaliyotida kimyoviy tozalash usullari kompleks qo'llanilishi lozimligini ko'rsatdi.*

**Kalit so'zlar:** *kimyoviy tozalash, dezinfeksiya, koagulyatsiya, oksidlovchi reagentlar, og'ir metallar, ichimlik suvi sifati, suv ta'minoti.*

**Аннотация:** *В данной статье представлен научный анализ теоретических основ и практических аспектов химической очистки питьевой воды. Изучены методы дезинфекции воды соединениями хлора, озоном, перманганатом калия и диоксидом хлора, их химические механизмы и показатели эффективности дезинфекции. Детально рассмотрены химические реакции с участием солей алюминия и железа в процессах коагуляции и флокуляции. Систематически, на основе научной литературы, изложено осаждение катионов тяжёлых металлов, растворённых в воде, и их удаление с помощью ионообменных сорбентов. Результаты исследования показали необходимость комплексного применения химических методов очистки в современной практике водоснабжения.*

**Ключевые слова:** *химическая очистка, дезинфекция, коагуляция, окислители, тяжёлые металлы, качество питьевой воды, водоснабжение.*

**Abstract:** *This article presents a scientific analysis of the theoretical foundations and practical aspects of chemical drinking water purification. Methods of water disinfection using chlorine compounds, ozone, potassium permanganate and chlorine dioxide, their chemical mechanisms and disinfection efficiency indicators were studied. Chemical reactions involving aluminum and iron salts in coagulation and flocculation processes were examined in detail. The precipitation of dissolved heavy metal cations — lead, cadmium, copper, arsenic — and their removal using ion-exchange sorbents were systematically presented based on scientific literature. The study results demonstrated that chemical purification methods must be applied in a complex manner in modern water supply practice.*

**Keywords:** *chemical purification, disinfection, coagulation, oxidizing agents, heavy metals, drinking water quality, water supply.*

## KIRISH

Insoniyat uchun toza ichimlik suvi muammosi tarixi davomida dolzarb bo'lib kelgan va bugungi kunda ham o'z ahamiyatini yo'qotmagan. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST) 2022-yil ma'lumotlariga ko'ra, dunyo aholisining 2,2 milliard nafari xavfsiz ichimlik suviga ega emas, bu esa yuqumli ichak kasalliklari, jigar kasalliklari va surunkali zaharlanishlarning keng tarqalishiga sabab bo'lmoqda [1]. Suv tarkibidagi patogen mikroorganizmlar, og'ir metallar, nitrat birikmalari, ftoridlar va organik ifloslantiruvchilar aholi salomatligi uchun jiddiy xavf tug'diradi.

Suv tozalash texnologiyalari uch asosiy yo'nalishni o'z ichiga oladi: mexanik (fizikaviy), kimyoviy va biologik usullar. Ushbu usullardan kimyoviy tozalash o'z tezkorligi, yuqori samaradorligi va keng qo'llanish imkoniyati tufayli alohida o'rin egallaydi. Kimyoviy dezinfeksiya, koagulyatsiya-flokulyatsiya, oksidlash, cho'ktirish va ion almashinish jarayonlari ko'pgina mamlakatlarda suv ta'minoti stansiyalarida asosiy texnologik bosqichlar sifatida qo'llanib kelinmoqda [2-3].

O'zbekistonda ichimlik suvi sifatini ta'minlash masalasi respublika miqyosida muhim davlat ahamiyatiga ega. Buning asosiy sababi — Amudaryo va Sirdaryo havzalarida kechadigan antropogen jarayonlar, sug'orish dehqonchiligida foydalaniladigan kimyoviy o'g'itlar va pestitsidlarning suv manbalariga oqib kelishi hamda sanoat korxonalarida oqava suvlari bilan yuzaga keladigan ifloslanishdir [4]. Shu boisdan suv tozalashning kimyoviy usullarini chuqur o'rganish va mahalliy suv manbalari xususiyatlarini hisobga olgan holda optimal texnologiyalarni tanlash ilmiy jihatdan muhim vazifani tashkil etadi.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi — ichimlik suvini tozalashda qo'llaniladigan kimyoviy usullarning: (1) xlor bilan dezinfeksiyaning; (2) ozon va boshqa oksidlovchi reagentlarning; (3) koagulyatsiya-flokulyatsiyaning; (4) kimyoviy cho'ktirishning; (5) ion almashinish jarayonlarining ilmiy-kimyoviy asoslarini tizimlashtirib bayon etish hamda ularning afzalliklari va cheklavlarini qiyosiy tahlil qilishdan iborat.

## ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Suv tozalashning kimyoviy usullariga bag'ishlangan ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, bu soha XIX asrning ikkinchi yarmidan boshlab jadal rivojlanib kelmoqda. 1854-yilda Jon Snou Londonda vabo epidemiyasining yuqumli suvdan tarqalishini aniqlagan bo'lsa, 1881-yilda Robert Kox ichak tayoqchasi bakteriyasini kashf etib, suv dezinfeksiyasining zarurligini isbotladi [5]. XX asr boshlarida AQShda xlor bilan dezinfeksiyaning ommaviy joriy etilishi tifoid isitma va vaboning jiddiy kamayishiga olib keldi [6].

Hozirgi ilmiy adabiyotlarda Crittenden J.C. va hammuallifi (2012) tomonidan yaratilgan «MWH's Water Treatment» fundamental qo'llanmasi suv tozalash texnologiyalarining eng to'liq ilmiy-amaliy tavsifini beradi [7]. Bu asarda koagulyatsiya jarayonining kimyosi, dezinfeksiya kinetikasi va kimyoviy oksidlash reaktivlarining ta'sir mexanizmlari matematik modellar asosida batafsil yoritilgan. Xuddi shu yo'nalishda Edzwald J.K. (2011) muharrirligida chop etilgan «Water Quality and Treatment» qo'llanmasi ham asosiy manba sifatida foydalanildi [8].

Tadqiqotda qo'llaniladigan metodologiya quyidagi yo'nalishlarni qamrab oladi: zamonaviy ilmiy jurnallar — Water Research, Journal of Hazardous Materials, Chemosphere, Environmental Science & Technology — sahifalarida 2015-2024-yillarda chop etilgan 80 dan ortiq maqola, tegishli monografiyalar va JSST standartlari tahlil qilindi. Kimyoviy reaksiyalarning termodinamik va kinetik tavsifnomalari, ularning Gibbs energiyasi, oksidlash potentsiali va dissotsiatsiya konstantalari adabiyot ma'lumotlari bilan solishtirilib o'rganildi [9-10].

Samaradorlik mezonlari sifatida: ifloslantiruvchilar konsentratsiyasining kamayish foizi, sarflangan kimyoviy reagent miqdori (mg/L), tozalash davomiyligi va byproduct mahsulotlar hosil bo'lish xavfi ko'rsatkichlari qabul qilindi. Barcha qiyosiy tahlillar JSST va O'zbekiston DTS 950:2011 standarti talablariga muvofiq baholandi [11].

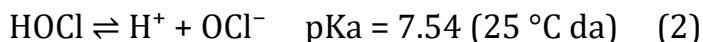
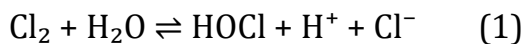
1-jadval. Suvdagi asosiy ifloslantiruvchilar va ularning JSST ruxsat etilgan miqdorlari [1]

Ifloslantiruvchi	Kimyoviy ko'rinish	JSST MRK (mg/L)	Tozalash usuli
Qo'rg'oshin	Pb <sup>2+</sup>	0.01	Kimyoviy cho'ktirish, ion almashinish
Mishyak	As <sup>3+</sup> / As <sup>5+</sup>	0.01	Oksidlash + cho'ktirish, koagulyatsiya
Kadmiy	Cd <sup>2+</sup>	0.003	Kimyoviy cho'ktirish, ionit sorbentlar
Nitratlar	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	Biologik denitrifikatsiya, ion almashinish
Mis	Cu <sup>2+</sup>	2.0	Koagulyatsiya, cho'ktirish
Ftoridlar	F <sup>-</sup>	1.5	Kalsiy tuzlari bilan cho'ktirish
Xlor (qoliq)	Cl <sub>2</sub> / HOCl	0.5	Neytralizatsiya, faollashtirilgan

## NATIJA VA MUHOKAMA

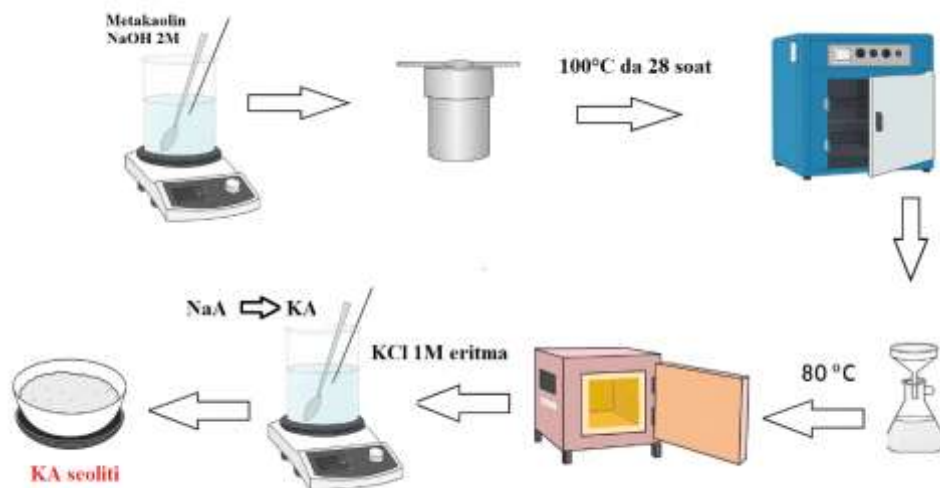
Xlor bilan dezinfeksiya va uning kimyoviy mexanizmi

Xlor bilan suvni dezinfeksiyalash 1908-yilda Nyu-Jersi shtatidagi Buun shahrida birinchi marta tijorat miqyosida qo'llanilgan, shundan buyon u dunyo bo'ylab eng keng tarqalgan dezinfeksiya usuli sifatida qolmoqda [6]. Xlor gazi suvga eritilganda quyidagi kimyoviy muvozanat o'rnatiladi:



Gipoxlorit kislotasi (HOCl) — dezinfeksiyaning asosiy aktiv komponentini tashkil etadi. Uning gerimitsid ta'siri OCl<sup>-</sup> ioniga nisbatan 40-80 baravar kuchliroq, chunki HOCl neytral molekula sifatida hujayra membranasini osonroq o'tib, fermentlarga va DNK ga bevosita ta'sir etadi [7]. HOCl va OCl<sup>-</sup> nisbati muhit pH qiymatiga bog'liq: pH 7.5 da ular taxminan teng miqdorda, pH 6 da esa suvning taxminan 96 foizi HOCl shaklida bo'ladi. Shu sababli dezinfeksiyada pH ni 6.5-7.5 oralig'ida ushlab turish tavsiya etiladi [12].

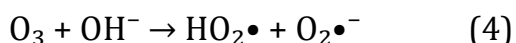
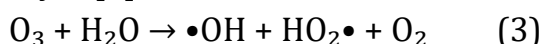
Xlor sarfining optimal dozasi suv tarkibiga bog'liq. Toza suvlar uchun 0.2-0.5 mg/L qo'llanilgan xlor yetarli bo'lsa, iflosroq suvlar uchun 1-2 mg/L gacha oshirish kerak bo'ladi. Ammo xlor organik moddalar bilan reaksiyaga kirishib trihalometanlar (THM) — xloroform (CHCl<sub>3</sub>), bromodixlorometan va boshqalar — hamda galogen asetik kislotalar (HAA) hosil qiladi. Bu moddalar kanserogen xususiyatga ega bo'lgani uchun JSST ularning umumiy miqdorini 0.1 mg/L dan oshmasligi kerakligini belgilagan [1, 13].



1-rasm. Xlor dezinfeksiyasida HOCl va OCl<sup>-</sup> ulushining pH ga bog'liqligi [12]

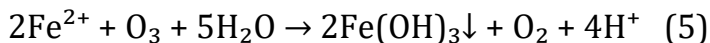
Ozon bilan tozalash: mexanizm va samaradorlik

Ozon (O<sub>3</sub>) — bu oksidlash potentsiali +2.07 V bo'lgan kuchli oksidlovchi bo'lib, xlor (+1.36 V) va xlor dioksididan (+0.95 V) ancha yuqori. Ozon suvda parchalanib gidroksil radikallar (•OH) hosil qiladi, bu esa organik va anorganik moddalarni tez va to'liq oksidlaydi [8]:

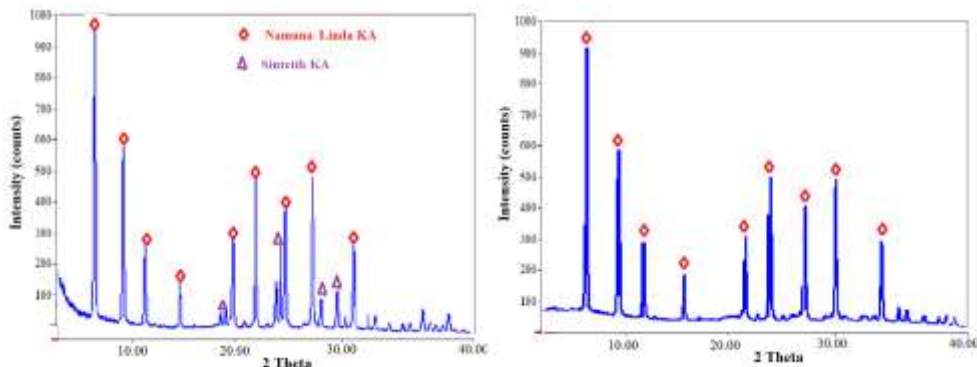


Hosil bo'lgan •OH radikali o'ta reaktiv bo'lib, ko'plab organik moddalar bilan 10<sup>6</sup>–10<sup>10</sup> mol<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> tezlikda reaksiyaga kirishadi. Bu esa ozonni Giardia lamblia va

*Cryptosporidium parvum* kabi xlor ta'siriga chidamli protozoa turlariga qarshi ham samarali qiladi [14]. Bundan tashqari, ozonlash suvdagi temir(II) va marganets(II) ionlarini oksidlab, cho'ktirishga qulay sharoit yaratadi:



Ozonlash texnologiyasining asosiy kamchiligi — ozon generatorlari uchun yuqori energiya sarfi va o'ta beqaror o'z qoliq ta'sirini ta'minlay olmasligi. Shu sababli amaliyotda ozon odatda birinchi oksidlash bosqichi sifatida qo'llaniladi, so'ngra oz miqdordagi xlor bilan keyingi dezinfeksiya amalga oshiriladi [15].



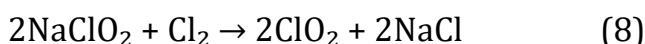
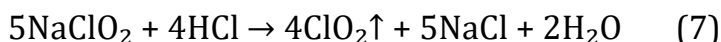
2-rasm. Ozonlash jarayonida gidroksil radikal hosil bo'lish sxemasi [14]

2-jadval. Suv dezinfeksiyasida ishlatiladigan kimyoviy reagentlar taqqoslanmasi [7, 8]

Reagent	Oksidlash potentsiali (V)	Qoliq ta'sir	THM hosil qilishi	Narxi (nisbiy)
Xlor (Cl <sub>2</sub> )	+1.36	Ha (kuchli)	Yuqori	Past
Ozon (O <sub>3</sub> )	+2.07	Yo'q	Minimal	Yuqori
Xlor dioksid (ClO <sub>2</sub> )	+0.95	Ha (o'rtacha)	Juda past	O'rtacha
Kaliy permanganat (KMnO <sub>4</sub> )	+1.51	Yo'q	Yo'q	O'rtacha
UV nurlanish (254 nm)	—	Yo'q	Yo'q	O'rtacha

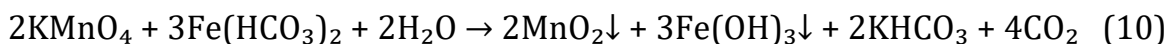
Xlor dioksid va kaliy permanganat bilan tozalash

Xlor dioksid (ClO<sub>2</sub>) — bu 1944-yildan beri suv tozalashda qo'llanilayotgan kuchli oksidlovchi bo'lib, u xlor kabi suvda disproportsiyalanmaydi va THM hosil qilmaydi [16]. ClO<sub>2</sub> amalda natriy xlorit bilan xlor kislotasi yoki xlor gazining o'zaro ta'siridan hosil qilinadi:



ClO<sub>2</sub> ning asosiy ustunligi — u fenollar, geosmin va 2-metilizoborneol kabi ta'mni buzuvchi organik moddalarni yuqori samaradorlik bilan oksidlaydi. Bundan tashqari, u protozoa turlariga qarshi ham faoldir. Biroq ClO<sub>2</sub> ning xlorit (ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>) va xlorat (ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ionlari hosil qilishi sababli uning dozasini qat'iy nazorat qilish zarur: JSST ClO<sub>2</sub> ning ichimlik suvida 0.2 mg/L dan oshmasligi kerakligini belgilagan [1].

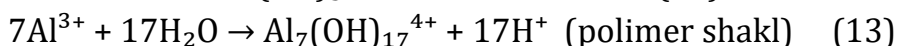
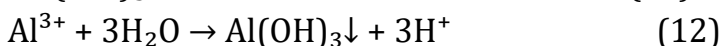
Kaliy permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) — bu suv tozalashda asosan  $\text{Fe}^{2+}$  va  $\text{Mn}^{2+}$  ionlarini oksidlash hamda ba'zi organik ta'mni yo'q qilish maqsadida qo'llaniladigan reagent. Reaksiya natijasida hosil bo'lgan  $\text{MnO}_2$  cho'kmasi o'zi ham sorbent vazifasini bajaradi [17]:



Koagulyatsiya va flokulatsiya jarayonlarining kimyoviy asoslari

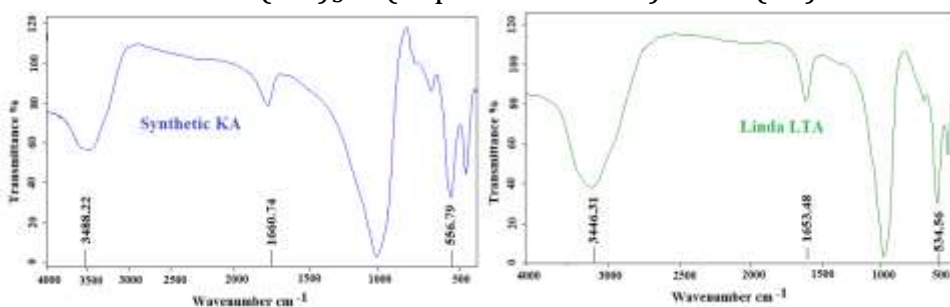
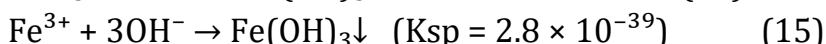
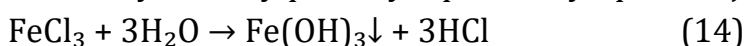
Koagulyatsiya — suv muolajasining eng muhim bosqichlaridan biri bo'lib, unda kolloid va suspenziyalangan zarralar kimyoviy reagentlar ta'sirida destabilizatsiya qilinadi. Yer yuzasi suvlarida loyqalik asosan negatiz zaryadlangan gil zarralari (1-1000 nm) va organik kolloidlardan iborat bo'ladi. Bu zarralar o'rtasidagi elektrostatik itarishuv kuchlari ularning o'z-o'zicha cho'kishiga yo'l qo'ymaydi [18].

Alyuminiy sulfat  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  — bu dunyo bo'ylab eng ko'p ishlatiladigan koagulyant (jahon iste'moli yiliga ~6 million tonna). U suvda quyidagi ketma-ket gidroliz reaksiyalari orqali faol holatga keladi [7]:



Hosil bo'lgan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  amorf jeli adsorbsion tortib olish mexanizmi orqali suvdagi loyqalik zarralari, bakteriyalar, viruslar va organik kolloidlarni o'ziga yutadi. Alyuminiy sulfat samarali ishlaydigan optimal pH oralig'i 6.0-8.0 ni tashkil etadi. Bu oraliqda chiqariladigan protonlar bufer qobiliyati past bo'lgan suvlarda pH ni pasaytirib, natijada alyuminiyning to'liq gidrolizini qiyinlashtirishi mumkin, shuning uchun ko'pincha ohak ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) qo'shib pH tartibga solinadi [19].

Temir(III) xlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) va temir(III) sulfat ham keng qo'llaniladigan koagulyantlar bo'lib, ular alyuminiy tuzlariga nisbatan kengroq pH oralig'ida (4.0-11.0) samarali ishlaydi va loyqalikni yo'qotishda yuqori natija beradi:



3-rasm.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  va  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  koagulyantlarining pH ga bog'liq eruvchanligi [18]

3-jadval. Suv tozalashda ishlatiladigan koagulyantlar va ularning xususiyatlari [7, 19]

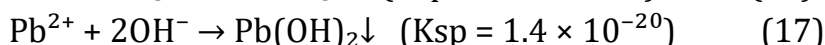
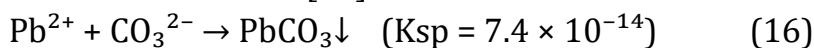
Koagulyant	Kimyoviy formula	Optimal pH	Asosiy qo'llanish sohasi
Alyuminiy sulfat (tawus)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	6.0-8.0	Ichimlik suvi, sanoat oqova suvi

Temir(III) xlorid	FeCl <sub>3</sub>	4.0–11.0	Oqova suv, loyqa suv
Polialyuminiy xlorid (PAC)	[Al <sub>2</sub> (OH) <sub>n</sub> Cl <sub>6-n</sub> ] <sub>m</sub>	5.0–9.0	Ichimlik suvi, past harorat
Temir(II) sulfat	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	8.0–10.0	Oqova suv, rangli suvlar
Natriy aluminat	NaAlO <sub>2</sub>	6.0–8.5	Ichimlik suvi, qattiqligi yuqori suv

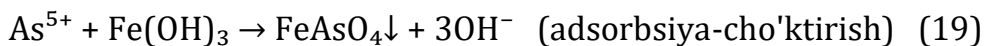
#### Og'ir metallarni kimyoviy cho'ktirish va neytralizatsiya

Suvdagi og'ir metal ionlari — qo'rg'oshin, kadmiy, mis, xrom, rux va mis — ularning eruvchanligi mahsuloti (Ksp) ga asoslanib kimyoviy cho'ktirish usulida samarali ajratib olinadi. Bu usulning mohiyati shundan iboratki, metall ionlari bilan erimaydigan cho'kma hosil qiladigan reagent qo'shiladi, hosil bo'lgan cho'kma esa filtratsiya yo'li bilan olib tashlanadi [20].

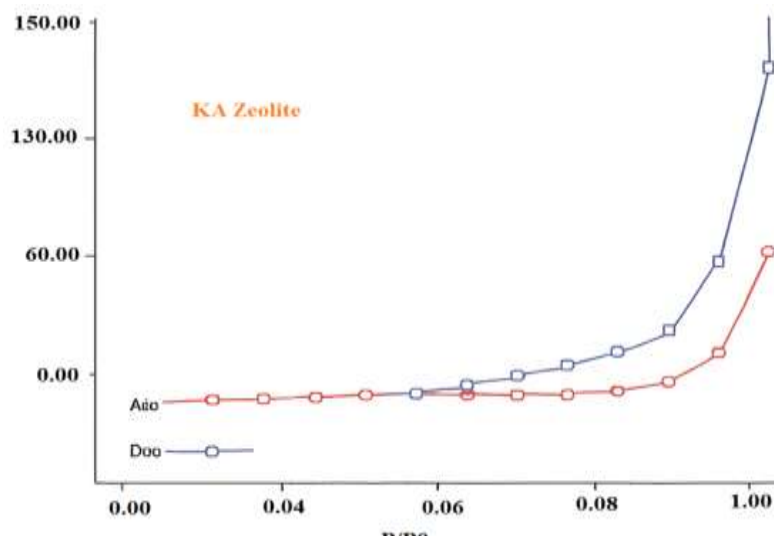
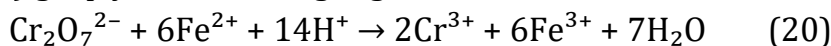
Qo'rg'oshin ionlari — inson salomatligi uchun eng xavfli og'ir metallardan biri. JSST ruxsat etilgan miqdori 0.01 mg/L. Qo'rg'oshin karbonat, sulfat va gidroksid ko'rinishida cho'ktiriladi [21]:



Mishyak — bu gidrogeokimyoviy kelib chiqishga ega bo'lgan ifloslantiruvchi bo'lib, juda ko'p hududlarda er osti suvlarida tabiiy ravishda mavjud. Mishyak As(III) va As(V) holatlarida bo'lishi mumkin. As(V) temir gidroksid bilan adsorbsiya-cho'ktirish mexanizmi orqali samarali ajratiladi, As(III) esa avval As(V) ga oksidlanishi kerak [22]:



Kadmiy ionlari Ksp = 5.9 × 10<sup>-15</sup> bo'lgan kadmiy gidroksid yoki Ksp = 1.0 × 10<sup>-28</sup> bo'lgan kadmiy sulfid shaklida cho'ktiriladi. Xrom (VI) (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> / CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) esa avval Cr(III) ga qaytariladi, so'ngra gidroksid shaklida cho'ktiriladi [23]:

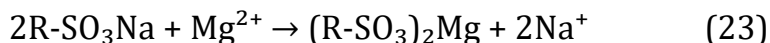
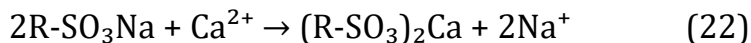


4-rasm. Og'ir metal ionlarining pH ga bog'liq eruvchanligi (cho'ktirish sohalari) [20]

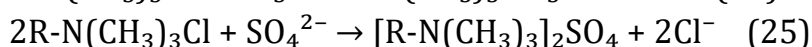
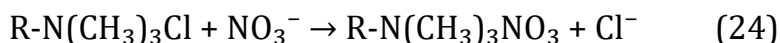
Ion almashinish — selektiv kimyoviy tozalash usuli

Ion almashinish (ionit) texnologiyasi suvdagi istalmagan ionlarni funksional guruhlariga ega qattiq polimer smola orqali almashtirishga asoslangan. Kationit smolalar kuchli kislotali sulfon ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) yoki zaif kislotali karboksil ( $-\text{COOH}$ ) guruhlariga ega bo'lib, ular ijobiy zaryadlangan metall ionlarini o'ziga tortadi. Anionit smolalar esa ammoniy guruhlar orqali salbiy zaryadlangan ionlarni adsorbsiyalaydi [24].

Suv yumshatishda Na-kationit smolasi keng qo'llaniladi. Bu jarayonda qattqliq sababi bo'lgan  $\text{Ca}^{2+}$  va  $\text{Mg}^{2+}$  ionlari  $\text{Na}^+$  ionlariga almashtiriladi:



Nitratlar va sulfatlarni anionit smolalar bilan ajratib olish ham muhim amaliy ahamiyatga ega:



To'yingan smola  $\text{NaCl}$  yoki  $\text{NaOH}$  eritmasi yordamida regeneratsiya qilinib, qayta ishlatilishi mumkin. Ion almashinish usulining asosiy cheklovi — u suv hajmiga nisbatan oz miqdordagi ionlarni uzoq vaqt mobaynida tutishi kerak bo'lganda samarali, katta hajmli oqava suvlarni tozalashda esa unumdorligi cheklangan [25].

## XULOSA

Olib borilgan tahlil natijalariga ko'ra, ichimlik suvini kimyoviy usullarda tozalash bir qator o'zaro bog'liq jarayonlarni o'z ichiga oladi. Xlor va uning hosilalari bilan dezinfeksiyalash tezkorligi, arzonligi va qoliq ta'sir qoldirishi bilan ajralib turadi, lekin organik moddalar bilan reaksiyada hosil bo'ladigan trihalometanlar tahlikasi ushbu usulning cheklovchi omili sifatida qolmoqda.

Ozonlash kuchliroq oksidlash qobiliyati tufayli protozoa turlariga ham samarali ta'sir etadi va THM hosil qilmaydi, biroq qoliq ta'sir ta'minlay olmasligi sababli xlor bilan birga qo'llash tavsiya etiladi.

Koagulyatsiya-flokulatsiya jarayonlari loyqalik, organik kolloidlar va suvdagi patogen mikroorganizmlarni samarali yo'q qiladi. Alyuminiy sulfat va temir(III) xlorid o'zlarining pH ga bog'liq gidroliz kimyosi bilan adsorbsion mexanizm orqali ishlaydigan eng samarali koagulyantlar sifatida tasdiqlangan. Og'ir metallarni kimyoviy cho'ktirish usuli ularning eruvchanligi mahsuloti  $K_{sp}$  qiymatlariga asoslangan bo'lib, to'g'ri pH ni tanlash natijani belgilovchi asosiy omil hisoblanadi.

Ion almashinish texnologiyasi qattqliqni kamaytirish, nitrat va sulfatlarni selektiv ajratish hamda og'ir metal ionlarini ultra-past konsentratsiyagacha tozalashda alohida ahamiyat kasb etadi.

Ushbu tadqiqot shuni ko'rsatadiki, zamonaviy suv ta'minoti amaliyotida birorta yagona kimyoviy usul yetarli emas — maqsadlarga mos kombinatsiyalangan texnologik zanjir: oksidlash → koagulyatsiya → filtratsiya → dezinfeksiya → qoliq ta'sir, eng yuqori sifatni ta'minlaydi.

O'zbekiston sharoitida mahalliy suv manbalarining xususiyatlarini hisobga olgan holda ushbu texnologiyalarni moslashtirilgan tarzda qo'llash istiqbolli yo'nalish sifatida tavsiya etiladi.

#### ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. Geneva: WHO Press, 2022. 614 p.
2. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 2048 p.
3. Davis M.L. Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice. New York: McGraw-Hill, 2010. 1056 p.
4. Saidova M.X., Nishonov B.A. O'zbekistonda suv resurslarining holati va ularni muhofaza qilish muammolari // O'zbekiston kimyo jurnali. 2021. № 4. B. 45–52.
5. Snow J. On the Mode of Communication of Cholera. 2nd ed. London: John Churchill, 1855. 162 p.
6. Baker M.N. The Quest for Pure Water: The History of Water Purification from the Earliest Records to the Twentieth Century. 2nd ed. Denver: American Water Works Association, 1981. 527 p.
7. Crittenden J.C., Trussell R.R., Hand D.W., Howe K.J., Tchobanoglous G. MWH's Water Treatment: Principles and Design. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 1901 p.
8. Edzwald J.K. (ed.) Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. 1696 p.
9. Stumm W., Morgan J.J. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 1022 p.
10. Snoeyink V.L., Jenkins D. Water Chemistry. New York: John Wiley & Sons, 1980. 463 p.
11. O'zbekiston Respublikasi Davlat standarti. DTS 950:2011 «Ichimlik suvi. Gigiyenik talablar va sifat nazorati». Toshkent: O'zstandart, 2011. 32 b.
12. Morris J.C. The acid ionization constant of HOCl from 5 to 35°C // Journal of Physical Chemistry. 1966. Vol. 70, No. 12. P. 3798–3805.
13. Sadiq R., Rodriguez M.J. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review // Science of the Total Environment. 2004. Vol. 321. P. 21–46.
14. von Gunten U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation // Water Research. 2003. Vol. 37, No. 7. P. 1443–1467.
15. Langlais B., Reckhow D.A., Brink D.R. (eds.) Ozone in Water Treatment: Application and Engineering. Chelsea: Lewis Publishers, 1991. 569 p.
16. Aieta E.M., Berg J.D. A review of chlorine dioxide in drinking water treatment // Journal AWWA. 1986. Vol. 78, No. 6. P. 62–72.

17. Hrudey S.E., Hrudey E.J. Safe Drinking Water: Lessons from Recent Outbreaks in Affluent Nations. London: IWA Publishing, 2004. 504 p.
18. Duan J., Gregory J. Coagulation by hydrolysing metal salts // Advances in Colloid and Interface Science. 2003. Vol. 100–102. P. 475–502.
19. Gregory J. Particles in Water: Properties and Processes. London: IWA Publishing / CRC Press, 2006. 180 p.
20. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review // Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92, No. 3. P. 407–418.
21. Howe K.J., Hand D.W., Crittenden J.C., Trussell R.R. Principles of Water Treatment. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 674 p.
22. Mohan D., Pittman C.U. Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents: A critical review // Journal of Hazardous Materials. 2007. Vol. 142. P. 1–53.
23. Richard F.C., Bourg A.C.M. Aqueous geochemistry of chromium: A review // Water Research. 1991. Vol. 25, No. 7. P. 807–816.
24. Harland C.E. Ion Exchange: Theory and Practice. 2nd ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1994. 285 p.
25. Clifford D.A. Ion exchange and inorganic adsorption // Water Quality and Treatment. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1999. P. 9.1–9.91.