

UO'K: 662.7

doi 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.29

OLTIN SAQLOVCHI RUDALARNI EKOLOGIK JIHATDAN XAVFSIZ QAYTA ISHLASH IMKONIYATLARI



Aripov Avaz Rozikovich

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: avaz.aripov.82@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0428-507X



Sayfullayev Farruxjon Ibodovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956



Qurbonov Mehrob Nuriddinovich

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: mehrobqurbonov99@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-4897-9455



Jabborova Surayyo G'ulomovna

Assistant, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston
E-mail: jabborovasurayyo22@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqola natriy sulfid va natriy gidroksid saqlagan eritmada oltin tarkibli tetraedrit boyitmalarini ishqoriy tanlab eritishga qaratilgan. Bunday tanlab eritish og'ir va qo'shimcha metallarni eritmaga o'tkazish bilan davom etadi, bu esa tanlab eritish mahsulotining fizik xususiyatlari va sifatiga ta'sir qilishi, shuningdek, atrof-muhitning ifloslanishiga olib kelishi mumkin. Natriy sulfidi tetraedritni o'z ichiga olgan sulfid minerallarga juda samarali ta'sir ko'rsatadi, natriy gidroksidi esa eritish jarayonini sekinlashtiruvchi oltingugurtning gidrolizini bartaraf etadi. Tanlab eritish kinetikasi besh soat davomida o'tkazildi. Uchta namunadan ma'lum vaqt oralig'ida hajmiy namunalar olinib, NaOH bilan tanlab eritish samaradorligi baholash uchun atom-absorbsion spektrometriya usulida tekshirildi.

Kalit so'zlar: oltin, tetraedrit, gidrometallurgiya, tanlab eritish, og'ir metallar, atrof-muhit.

ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Арипов Аваз Розикович

Доктор философии (PhD) по техническим наукам, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

**Сайфуллаев
Фаррухжон Ибодович**

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

**Курбонوف Мехроб
Нуриддинович**

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

**Джабборовва Сурайё
Гуламовна**

Ассистент, Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

Аннотация. Данная статья посвящена селективному щелочному выщелачиванию золотосодержащих тетраэдритовых концентратов в растворе, содержащем сульфид натрия и гидроксид натрия. Такое селективное выщелачивание сопровождается переходом тяжелых и примесных металлов в раствор, что может повлиять на физические свойства и качество продукта выщелачивания, а также привести к загрязнению окружающей среды. Сульфид натрия очень эффективно воздействует на сульфидные минералы, содержащие тетраэдрит, а гидроксид натрия предотвращает гидролиз серы, замедляющий процесс растворения. Кинетика выщелачивания изучалась в течение пяти часов. Объемные пробы отбирались из трех образцов через определенные промежутки времени и исследовались методом атомно-абсорбционной спектроскопии для оценки эффективности селективного выщелачивания с использованием NaOH.

Ключевые слова: золото, тетраэдрит, гидрометаллургия, селективное выщелачивание, тяжёлые металлы, окружающая среда.

POSSIBILITIES OF ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING OF GOLD-CONTAINING ORES

Aripov Avaz Rozikovich

Doctor of Philosophy (PhD) in
Engineering Sciences, Navoi State
University of Mining and
Technology, Navoi, Uzbekistan

**Sayfullaev Farrukhjon
Ibodovich**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

**Kurbonov Mekhrob
Nuriddinovich**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

**Jabbarova Surayo
Gulamovna**

Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan

Abstract. This article focuses on the selective alkaline leaching of gold-bearing tetrahedrite concentrates in a solution containing sodium sulfide and sodium hydroxide. This selective leaching process is accompanied by the transfer of heavy metals and impurities into the solution, which can affect the physical properties and quality of the leaching product, as well as lead to environmental pollution. Sodium sulfide is highly effective in acting on sulfide minerals containing tetrahedrite, while sodium hydroxide prevents sulfur hydrolysis, which would otherwise slow down the dissolution process. The leaching kinetics were studied over a five-hour period. Bulk samples were taken from three specimens at specific time intervals and analyzed using atomic absorption spectrometry to evaluate the effectiveness of selective leaching with NaOH.

Keywords: gold, tetrahedrite, hydrometallurgy, selective leaching, heavy metals, environment.

Kirish. Oltin ishlab chiqarish mavzusi hanuzgacha dolzarb hisoblanadi. Ko'plab mamlakatlarda oltin ishlab chiqarishga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda, ammo bu jarayon atrof-muhitga katta ta'sir ko'rsatadi. Oltin tarkibli rudalarni qazib olish, qayta tiklash, qayta ishlash va ekstraksiya qilish jarayonlari xavfli kimyoviy moddalarni ko'p sarflashga va og'ir metallarga boy chiqindilar hosil bo'lishiga olib keladi. Bu chiqindilar nazoratsiz ravishda tarqalib, ekotizimni keng miqyosda ifloslantiradi. Shu sababli, butun jarayonni zamonaviy toksikologiya bilimlari, tamoyillar va atrof-muhit standartlariga asoslangan global yo'riq-nomalar orqali ehtiyotkorlik bilan tartibga solish zarur. Shu asosda, sianlasah jarayonida alternativ usullar izlanmoqda; garchi sianlash jarayoni juda samarali bo'lsa-da, u atrof-muhitni himoya qilish talablariga javob bermaydi. Maqsad - toksik moddalarni chiqindilarga kirishining oldini olish va atrof-muhitga ta'sirini minimal darajaga tushirish. Oltin tarkibli xomashyoni qayta ishlash uchun mos usulni tanlash, tabiiy oltin va minerallar bilan bog'langan oltin nisbati bilan belgilanadi. Har bir komponentning zichligi turlicha bo'lganligi sababli, og'irlik (gravitatsion) usullar tabiiy oltinni ajratib olish uchun mos hisoblanadi. Minerallar bilan

bog'langan oltinni ajratib olish uchun esa kimyoviy ishlov berish usullari qo'llaniladi, jumladan: amalgamatsiya, sianlash va boshqa reagentlar bilan ishlash, shuningdek, fizik va kimyoviy usullarini birlashtirgan qayta ishlash usullari, masalan, flotatsiya. Ushbu oltin tarkibli ruda va boyitmalarni qayta ishlash usullari bevosita atrof-muhitga ta'sir ko'rsatadi. Hozirgi texnologik yutuqlarga qaramay, ishlab chiqarish jarayonida katta miqdorda chiqindilar hosil bo'ladi. Shu asosda, atrof-muhit xavfini kamaytirish va inson salomatligiga ta'sirni cheklash maqsadida barcha mamlakatlarda amal qilinishi lozim bo'lgan global mezonlar mavjud [1-2].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Oltin tarkibli rudalarni gidrometallurgik qayta ishlash - oltin ajratib olish jarayonida ishlatiladigan muhim usullar guruhini tashkil etadi va bu usul rudalar, boyitmalar hamda qayta ishlanadigan yoki qoldiq materiallardan metallarni suvli eritmalar yordamida tiklashni o'z ichiga olgan bir nechta asosiy jarayonlarning kombinatsiyasidan iborat. Gidrometallurgiya jarayoni odatda to'rt umumiy bosqichga bo'linadi: eritish, boyitilgan eritma olish, eritmani tozalash va metallarni tiklash. Keyingi bosqichda chiqindilar ajratilib, eritma tozalanadi. So'ngra,

eritmadan metall yoki metall birikmalari kimyoviy yoki elektrolitik usullar orqali ajratib olinadi. Eng ko'p ishlatiladigan reagentlarga NaCN, suyultirilgan H₂SO₄, NaOH va boshqalar kiradi [3].

Eritish – bu oltin tarkibli xomashyoda mavjud oltinning eritmaga o'tishi jarayoni yoki aksincha, oltin xomashyoda qolib, faqat kerak bo'lmagan metallar yoki zararli aralashmalar eritib olinadigan jarayondir. Eritish metall ajratish jarayonining asosiy usuli bo'lib, unda qimmatbaho metallni o'z ichiga olgan material bilan to'g'ridan-to'g'ri kontaktga kiradigan kislotali yoki ishqorli eritmalar qo'llaniladi. Eritish jarayonida hal qiluvchi parametrlar - bu tiklanish potentsiali, eritmaning pH ko'rsatkichi va harorat, odatda ular kerakli metallning erituvchi bilan aloqasini optimallashtirish maqsadida sozlanadi. Eritish jarayoni pirometallurgik usulga nisbatan sezilarli darajada kamroq toksik bo'lib, eritish jarayonida gazlar va chang hosil bo'lmasligi orqali atrof-muhitni ifloslantirmaydi. Oltin uchun to'g'ri eritish jarayonini tanlash rudaning tuzilishi, mineralogik tarkibi, kimyoviy talablar, eritish texnikalari va atrof-muhitni boshqarish talablariga bog'liq. Gidrometallurgiyada asosan ishqoriy, neytral va kislotali muhitlarda eritish amalga oshiriladi. Barcha tizimlarda oltinni eritish uchun oksidlovchi vosita va eritmada oltin bilan kompleks hosil qiluvchi ligand talab qilinadi. Shuningdek, pH-ni sozlash odatda zarur bo'ladi [4].

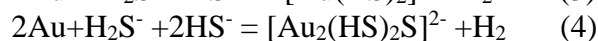
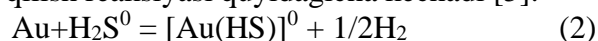
Sianid o'rniga mos alternativ sifatida tiomachevinali eritish qo'llaniladi. Kislotali eritmada tiomachevina oltinni eritib, kompleks birikma hosil qiladi. Katalizator sifatida temir (III) sulfat qo'shilishi oltinning oksidlanishini kuchaytiradi. Reaksiya quyidagi tenglama bo'yicha sodir bo'ladi:



Tiomachevinada oltinni eritish sianidga nisbatan tezroq amalga oshadi, ammo eritish jarayonida tiomachevinaning sarfi juda ko'p bo'ladi, chunki u eritmada tez oksidlanadi. Laboratoriya tajribalari ushbu reagentnidan foydalanilganda ishlab chiqarish xarajatlarining oshishiga olib kelgan. Shuningdek, uning atrof-muhitga ta'siri bo'yicha izohlar mavjud. Tiomachevina sianidga nisbatan kamroq toksikligi ta'kidlangan bo'lsa-da, ehtiyotkorlik bilan ishlatilishi lozim.

Sianidga mos keladigan boshqa reagentlar

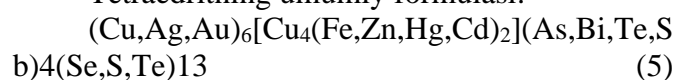
sifatida sulfid, bisulfit va vodorod sulfidi bilan eritish qo'llanilishi mumkin. Tiomochevina va tiosulfatdan tashqari oltingugurt asosidagi reagentlar - sulfidlari, bisulfidlari, vodorod sulfidi (yoki oltingugurt dioksidi) va polisulfidlar hisoblanadi. Ushbu reagentlarning amaliy qo'llanilishida faqat bisulfit va vodorod sulfidi samarali hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, oltinning eruvchanligi vodorod sulfidi (H₂S) konsentratsiyasi oshishi bilan ortadi. Shu sababli, oltin eruvchan bo'lishi uchun eritmada oltingugurt mavjud bo'lishi va eritmaning pH ko'rsatkichi oltingugurtning sulfid shaklida saqlashga mos bo'lishi zarur ya'ni kislotalik. Asosiy uchta bisulfit kompleksi mavjud: Au(HS)₀, Au(HS)₂ va Au₂(HS)₂S₂. Oltin va bisulfidlarning kompleks hosil qilish reaksiyasi quyidagicha kechadi [5]:



Shu bilan 50 °C haroratda oksidlovchi vosita qo'shilmasdan sulfidli boyitmadan oltinni 90% gacha erishish mumkin. Tanlab eritish jarayonini samarali amalga oshirish uchun nisbatan yuqori konsentratsiyadagi polisulfid talab etiladi. Tiosulfat va polisulfid aralashmalarida, agar boshqa oksidlovchi vositalar mavjud bo'lmasa, polisulfidlar faqat eritish reagenti sifatida ishlaydi. Masalan, mis mavjudligida, polisulfidlar mis bilan reaksiyaga kirib CuS hosil qiladi.

Tetraedrit – bu surma, mishyak, mis, kumush, oltin yoki temir, simob, rux va boshqa metallarni o'z ichiga olgan murakkab sulfid birikma hisoblanadi.

Tetraedritning umumiy formulasi:



U tetraedritlar guruhiga kiruvchi mineralar ichida asosiy namunasi sifatida qaraladi va tarkibidagi element miqdoriga qarab nomlanadi. Tabiatda uchraydigan tetraedritlar asosan mis va surma tarkibli bo'ladi. Agar tarkibida mishyak va surma miqdori yuqori bo'lsa, bunday mineralga tetraedrit-tenantit deyiladi, agar kumush miqdori yuqori bo'lsa, unga tetraedrit-freybergit nomi bilan ataladi. Simob (Hg) miqdori 17% dan, vismut (Bi) - 4% dan, shuningdek temir, qo'rg'oshin va nikel miqdori yuqori bo'lgan tetraedritlarning o'ziga xos nomlari mavjud. Bundan tashqari, tetraedrit tarkibida rux (Zn) 8% gacha yoki kadmiy (Cd) 2% gacha bo'lishi mumkin.

Natijalar. Namunalar eritishdan oldin ishqorli muhitda oldindan ishlov berildi. Tajriba uchun biz oltin tarkibli tetraedrit flotatsiya boyitmasini oldik. Flotatsiya jarayonidan keyin ushbu boyitmada mavjud bo'lgan elementlarning miqdori 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Tetraedrit boyitmasidagi elementlar tarkibi
(Atom-absorbsion spektroskopiya usuli bo'yicha)

Cu (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Fe (%)	Sb (%)	As (%)	Bi (%)	Hg (%)	Co (%)	Cr (%)
1,7-3,6	4001-7060	4-11	7-9	13-15	0,7-0,8	0,3-0,5	0,7-0,8	0,2-0,3	0,06-1,2

Sulfidlardan mishyak, surma, mis va temir kabi boyitmalarni ishqorli tanlab eritish rejimini yaratish uchun natriy gidroksid va natriy sulfid ishlatildi. Natriy sulfid 134 ml hajmda 1,13 M konsentratsiyada, natriy gidroksid esa turli molyar konsentratsiyalarda (0,74; 1,4 va 1,7 M) 363 ml hajmda ishlatildi. Natijada hosil bo'lgan eritma hajmi 500 ml ni tashkil etdi. Tetraedrit namunalarining og'irligi 4 g. Har bir tajribada 35 ml hajmli suyuqlik namunasi turli vaqt intervallarida olingan: 30 daqiqa, 1 soat, 2 soat, 3 soat, 4 soat va 5 soat. Tanlab eritishdan so'ng, turli konsentratsiyadagi natriy gidroksid bilan 5 soat davomida tanlab eritish jarayonidan olingan eritmaning qolgan hajmi filtrlanib, quritildi.

Suyuqlik namunalari atom-absorbsion spektrometriya usuli bilan tahlil etildi. Suvli eritmadagi og'ir metallarning miqdori AAS (MFA-915 Grafit pechli atom -absorbsion spektrometr) yordamida o'lchandi (1-rasm).



1-rasm. MFA-915 Grafit pechli atom -absorbsion spektrometr.

Qattiq namunalar (boyitmalarni tanlab eritish jarayonidan olingan filtrat) yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop Apreo 2S LoVac (2-rasm) yordamida o'rganildi. Bunda asosiy maqsad – tanlab eritish jarayonida erimay qolgan minerallar miqdorini aniqlash uchun ishlatildi.



2-rasm. Yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop Apreo 2S LoVac.

Birinchi tajribada 4 g tetraedrit konsentrat namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritildi, bunda 134 ml 1,14 M Na₂S va 366 ml 0,74 M NaOH eritmasi ishlatildi. Eritish jarayonida 40 ml hajmdagi namuna ma'lum vaqt intervallarida ajratib olindi. 2-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

2-jadval

0,74 M NaOH konsentratsiyali eritmada
elementlarning erish kinetikasi

Komponent	0,74 M NaOH mg /l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	2,32	2,31	3,07	2,68	3,24	6,68	3,53	7,78
As	6,80	7,50	8,65	9,38	10,32	11,67	12,94	21,38
Cu	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	0,07
Fe	0,05	0,08	0,18	0,14	0,13	0,13	0,28	0,28

Ikkinchi tajribada 4 g tetraedrit boyitmasi namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritilgan, bunda 134 ml 1,15 M Na₂S va 364 ml 1,4 M NaOH mavjud edi. Eritish jarayonida 35 ml hajmdagi namuna ma'lum vaqt oralig'ida ajratib olindi. 3-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

3-jadval

1,4 M NaOH konsentratsiyali eritmada
elementlarning erish kinetikasi

Komponent	1,4 M NaOH mg /l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	3,32	4,25	4,07	4,68	4,24	4,68	9,53	22,78
As	11,80	11,50	13,65	15,38	16,32	17,67	20,94	51,38
Cu	0,04	0,03	0,6	0,04	0,04	0,09	0,07	0,08
Fe	0,10	0,13	0,18	0,2	0,2	0,13	0,28	0,4

Uchinchi tajribada 4 g tetraedrit konsentrat

namunasi ishlatilgan bo'lib, u 500 ml hajmdagi eritmada eritilgan, bunda 132 ml 1,15 M Na₂S va 368 ml 1,9 M NaOH mavjud edi. Eritish jarayonida 35 ml hajmdagi namuna vaqt oralig'ida ajratib olindi. 4-jadvalda eritish kinetikasi ko'rsatilgan bo'lib, unda metallarning vaqt davomida erish miqdorini aks ettiradi.

4-jadval

**1,9 M NaOH konsentratsiyali eritmada
elementlarning erish kinetikasi**

Komponent	1,9 M NaOH mg /l							
	Vaqt							
	0,5	1	2	3	4	5	12	24
Sb	3,33	4,20	4,41	4,54	4,34	5,07	9,44	14,60
As	9,80	14,50	14,65	16,38	19,32	21,67	55,94	66,38
Cu	0,06	0,07	0,03	0,08	0,06	0,02	0,05	0,02
Fe	0,05	0,07	0,07	0,08	0,13	0,19	0,44	0,48

Muhokoma. Metall ishlab chiqarish jarayonlari, xususan oltin va boshqa qimmatbaho metallarni qazib olish va qayta ishlash, atrof-muhitga sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu jarayonlarda ishlatiladigan kimyoviy moddalar, xususan natriy sianid, tiomochevina, natriy sulfid, kislotali va ishqorli eritmalar, suv, tuproq va havoni ifloslantirishi mumkin. Eritish jarayonlari natijasida hosil bo'lgan og'ir metallarga boy chiqindilar (Mishyak, surma, mis, qo'rg'oshin va boshqalar) nazoratsiz tarzda atrof-muhitga tarqalib, ekotizimga zarar yetkazadi.

Hozirgi tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, tanlab eritish texnologiyasining turi va reagentlarning konsentratsiyasi chiqindilarning toksikligini belgilaydi. Masalan, Na₂S va NaOH ishlatilgan ishqoriy tanlab eritish jarayonlarida mishyak, surma va misning erishi nazorat qilinmasa, suv resurslari va

tuproq ifloslanadi. Shu bilan birga, atom - absorbsion spektrometr (AAS) va yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskop (Apreo 2S LoVac) tahlillari natijalari shuni ko'rsatadiki, qattiq qoldiqlarda ham og'ir metallar to'planib, keyinchalik ularning erishi mumkinligi atrof-muhit xavfini oshiradi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotning maqsadi boyitma tarkibidagi zararli metallarni (Sb, As, Fe va Cu) eritmaga o'tkazish va eritish jarayoni qattiq qoldig'i tarkibidagi oltin miqdorini oshirishdan iborat edi. Maqolada keltirilgan natijalarni shunday baholashimiz mumkin, natriy gidroksid konsentratsiyasining oshirilishi tetraedrit minerali uchun samarali erituvchi reagent sifatida mos keladi va sanab o'tilgan metallarni eritmaga samarali o'tkaza oladi, natijada oltin konsentratsiyasi ortadi.

Tanlab eritish jarayoni ichida 3-namunada metallarning eritmaga o'tish darajasi yuqori ekanligini ko'rsatdi, bunda eritma 1.15 M Na₂S va 1.9 M NaOH dan iborat edi.

Shunday qilib, ishqoriy eritmaga o'tkazish bo'yicha nazariy bilimlar yordamida kutilgan natijaga erishish mumkin bo'ldi. Ushbu tajribalar yordamida sianlash va ishqoriy eritmaga tanlab eritish bilan almashtirish mumkin bo'ldi, bu esa oltinni ajratib olish va og'ir metallarni eritmaga o'tkazish bo'yicha kutilgan samarali natijani berdi. Ishqoriy tanlab eritish usuli tozalovchi vazifasini bajardi, bunda oltin qattiq qoldiq (kek)da qoldi, uning konsentratsiyasi oshdi va og'ir metallar eritma tarkibiga o'tkazildi. Shu bilan birga, atrof-muhit muhofazasi ham ta'minlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Fuzaylov, O. U., Sayfullayev, F. I., Majidova, I. I., & Jabborova, S. G'. (2022). Исследование способов интенсификации процесса обжига сульфидных золотосодержащих концентратов с применением микроволнового излучения. Journal of Advances in Science and Engineering Technology, 2(6).
- [2] Aripov, A. R., Fuzaylov, O. U., Sayfullayev, F. I., & Qurbonov, M. N. (2023). Murakkab oltin tarkibli ruda va konsentratlarning maydalanish va sianlanish qobiliyatini yaxshilash uchun mikroto'qinli energiyadan foydalanish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, (2).
- [3] Aripov, A. R., Sayfullayev, F. I., Qurbonov, M. N., & Jabborova, S. G'. (2025). Murakkab tarkibli xom-ashyolardan qimmatbaho metallarni ajratib olish jarayonida gidrometallurgik usullarning ilmiy asoslari va amaliy qo'llanilishi. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 3(1).
- [4] Sayfullayev, F. I., & Nurmurotova, Sh. O. (2025). Применение комбинированных методов в процессе извлечения драгоценных металлов из сырья упорного состава. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 3(2).