

OLTIN TARKIBLI TEXNOGEN CHIQUINDILARNI QAYTA ISHLASH VA ULARDAN SAMARALI FOYDALANISH

Kamolov Ulug'bek Olimjon o'g'li

Toshkent Davlat Texnika Universiteti, Magistratura

e-mail: kamolovulugbek608@gmail.com

+998949477603

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20092504>

Annotatsiya: Mazkur ilmiy tezisdagi oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlashning zamonaviy texnologiyalari, ularning iqtisodiy va ekologik ahamiyati hamda ikkilamchi xomashyo sifatida samarali foydalanish istiqbollari tahlil qilinadi. Dunyo miqyosida rudalarning kambag'allashuvi va ishlab chiqarish chiqindilarining ortib borishi sharoitida texnogen chiqindilarni qayta ishlash muhim strategik yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Tadqiqot davomida gravitatsion boyitish, flotatsiya, gidrometallurgik va bio-gidrometallurgik usullar samaradorligi o'rganildi. Shuningdek, oltin ajratib olish jarayonida sianlash, sorbsiya va elektroximik texnologiyalarning amaliy natijalari ko'rib chiqildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, texnogen chiqindilar tarkibidagi qimmatbaho metallardan foydalanish ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish, ekologik xavfni pasaytirish va mineral resurslardan kompleks foydalanish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: Texnogen chiqindilar, oltin, gidrometallurgiya, sianlash, flotatsiya, bio-gidrometallurgiya, qimmatbaho metallar, ikkilamchi xomashyo, chiqindilarni qayta ishlash, ekologik xavfsizlik.

Аннотация: В данном научном тезисе анализируются современные технологии переработки техногенных отходов, содержащих золото, их экономическое и экологическое значение, а также перспективы эффективного использования в качестве вторичного сырья. В условиях мирового обеднения руд и увеличения объёмов производственных отходов переработка техногенных отходов считается одним из важных стратегических направлений. В ходе исследования была изучена эффективность методов гравитационного обогащения, флотации, гидрометаллургических и биогидрометаллургических процессов. Также были рассмотрены практические результаты технологий цианирования, сорбции и электрохимических методов в процессе извлечения золота. Согласно результатам исследования, использование драгоценных металлов, содержащихся в техногенных отходах, позволяет снизить себестоимость производства, уменьшить экологические риски и обеспечить комплексное использование минеральных ресурсов.

Ключевые слова: техногенные отходы, золото, гидрометаллургия, цианирование, флотация, биогидрометаллургия, драгоценные металлы, вторичное сырьё, переработка отходов, экологическая безопасность.

Abstract: This scientific thesis analyzes modern technologies for processing gold-containing technogenic waste, their economic and environmental significance, and the prospects for their efficient use as secondary raw materials. In the context of global ore depletion and the increasing volume of industrial waste, the processing of technogenic waste is considered one of the important strategic directions. During the research, the efficiency of gravitational enrichment, flotation, hydrometallurgical, and bio-hydrometallurgical methods was studied. In addition, the practical results of cyanidation, sorption, and electrochemical

technologies in the gold extraction process were examined. According to the research findings, the utilization of precious metals contained in technogenic waste makes it possible to reduce production costs, minimize environmental risks, and ensure the integrated use of mineral resources.

Keywords: technogenic waste, gold, hydrometallurgy, cyanidation, flotation, bio-hydrometallurgy, precious metals, secondary raw materials, waste processing, environmental safety.

Kirish

Bugungi kunda oltin qazib olish sanoatida asosiy muammolardan biri yuqori sifatli rudalar zaxirasining kamayib borayotganidir. Shu sababli sanoatda texnogen chiqindilarni qayta ishlashga bo'lgan ehtiyoj ortmoqda [1]. Texnogen chiqindilar tarkibida sanoat korxonalarini faoliyati natijasida hosil bo'lgan boyitish chiqindilari, shlamlar, tailinglar va metallurgik qoldiqlar mavjud bo'lib, ularning tarkibida ma'lum miqdorda oltin va boshqa qimmatbaho metallar saqlanadi [2].

Jahon amaliyotida oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlash iqtisodiy jihatdan foydali va ekologik xavfsiz texnologik yo'nalish sifatida rivojlanmoqda [3]. AQSh, Kanada, Rossiya, Xitoy va Janubiy Afrika Respublikasida eski tailing omborlari qayta o'zlashtirilmoqda va ulardan qo'shimcha oltin olinmoqda [4].

O'zbekiston Respublikasi ham oltin qazib olish bo'yicha dunyoning yetakchi davlatlaridan biri hisoblanadi. Navoiy kon-metallurgiya kombinati va Olmaliq kon-metallurgiya kombinati faoliyati natijasida katta hajmdagi texnogen chiqindilar hosil bo'lmoqda [5]. Ushbu chiqindilarni zamonaviy texnologiyalar asosida qayta ishlash iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga ekologik muammolarni kamaytirishga xizmat qiladi [6].

Metodologiya

Tadqiqot davomida ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, texnologik jarayonlarni solishtirish va statistik ma'lumotlarni umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlashning asosiy texnologik yo'nalishlari sifatida gravitatsion boyitish, flotatsiya, gidrometallurgik va bio-gidrometallurgik usullar o'rganildi [7].

Gravitatsion boyitish usuli zarrachalarning zichlik farqiga asoslanadi va asosan yirik fraksiyali oltin zarralarini ajratishda qo'llaniladi [8]. Flotatsiya usuli esa sulfidli minerallar tarkibidagi mayda oltin zarralarini boyitishda samarali hisoblanadi [9].

Gidrometallurgik usullar ichida sianlash texnologiyasi eng keng tarqalgan bo'lib, unda natriy sianid eritmasi yordamida oltin eritmaga o'tkaziladi [10]. Oltinni eritmadan ajratib olish uchun aktiv ko'mir sorbsiyasi va elektroliz usullari qo'llaniladi [11].

So'nggi yillarda ekologik xavfsiz texnologiya sifatida bio-gidrometallurgik usullar keng rivojlanmoqda. Bu usulda mikroorganizmlar yordamida metallarning eritmaga o'tishi tezlashtiriladi [12]. Biooksidlanish texnologiyasi tarkibida arsenopirit va pirit bo'lgan qiyin boyitiladigan chiqindilarni qayta ishlashda yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda [3].

Natijalar

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, texnogen chiqindilar tarkibidagi oltin miqdori ayrim hollarda 0,5–2,5 g/t gacha yetadi va bu ularni sanoat miqyosida qayta ishlash uchun iqtisodiy jihatdan maqbul hisoblanadi [4].

Flotatsiya va sianlash kombinatsiyasi asosida ishlov berilganda oltin ajratib olish darajasi 75–92 % oralig'ida bo'lishi aniqlangan [7]. Sulfidli tailinglarni biooksidlanish orqali oldindan tayyorlash esa oltinning eritmaga o'tish ko'rsatkichini sezilarli oshiradi [12].

Rossiya va Qozog'istondagi ayrim korxonalarda texnogen chiqindilarni qayta ishlash natijasida yiliga minglab tonna ikkilamchi xomashyo qayta iqtisodiy aylanishga kiritilgan [2]. Janubiy Afrika Respublikasida eski tailing omborlarini qayta ishlash orqali bir necha tonna qo'shimcha oltin olingani qayd etilgan [4].

O'zbekiston sharoitida ham texnogen chiqindilarni qayta ishlash bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Navoiy kon-metallurgiya kombinatida past navli rudalar va tailinglarni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish natijasida oltin ajratib olish ko'rsatkichlari oshirilgan [5].

Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning yana bir muhim afzalligi ekologik yuklamani kamaytirishdir. Chiqindilar omborlarining kamayishi tuproq va yer osti suvlarining zaharlanish xavfini pasaytiradi [6]

Tahlil va muhokama

Oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlash masalasi bugungi kunda jahon kon-metallurgiya sanoatining eng dolzarb ilmiy-amaliy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. So'nggi o'n yilliklarda yuqori navli rudalar zaxirasining kamayishi, qazib olish chuqurligining ortishi hamda yangi konlarni o'zlashtirish xarajatlarining keskin oshishi natijasida ko'plab davlatlarda ikkilamchi mineral resurslardan foydalanishga katta e'tibor qaratilmoqda [1]. Ayniqsa, oltin qazib olish sanoatida hosil bo'ladigan texnogen chiqindilar tarkibida ma'lum miqdorda qimmatbaho metallarning saqlanib qolishi ushbu chiqindilarni iqtisodiy jihatdan muhim manbaga aylantirmoqda [2].

Texnogen chiqindilar tarkibidagi oltin miqdori ko'pincha dastlabki qazib olingan rudaning texnologik xususiyatlari, boyitish usullari va metallurgik qayta ishlash darajasiga bog'liq bo'ladi. Ilgari qo'llanilgan texnologiyalar ko'plab hollarda mayda dispers holatdagi oltin zarrachalarini to'liq ajratib olish imkonini bermagan [4]. Natijada tailing omborlari va boyitish chiqindilarida sezilarli miqdorda oltin saqlanib qolgan. Zamonaviy texnologiyalar esa ushbu zaxiralarni qayta o'zlashtirish imkonini bermoqda.

Mutaxassislarning fikriga ko'ra, ayrim eski tailing omborlari tarkibidagi oltin miqdori 0,5–3 g/t gacha yetadi va bu ko'rsatkich ayrim tabiiy rudalar bilan deyarli teng hisoblanadi [7]. Shu sababli texnogen chiqindilarni qayta ishlash iqtisodiy jihatdan istiqbolli yo'nalish sifatida baholanmoqda. Ayniqsa, chiqindilar allaqachon maydalangan va boyitilgan bo'lgani sababli qo'shimcha maydalash xarajatlari kamayadi. Bu esa energiya sarfini qisqartiradi hamda ishlab chiqarish tannarxini pasaytiradi [8].

Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning eng muhim jihatlaridan biri ekologik muammolarni kamaytirish bilan bog'liq. Tailing omborlari katta hududlarni egallaydi va uzoq yillar davomida atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin [6]. Ularning tarkibida og'ir metallar, toksik kimyoviy birikmalar va sulfidli minerallar mavjud bo'lib, ular atmosfera, tuproq va yer osti suvlarini ifloslantirish xavfini yuzaga keltiradi. Ayniqsa, sulfidli minerallarning oksidlanishi natijasida kislotali drenaj suvlarining hosil bo'lishi ekologik xavfni yanada kuchaytiradi [3]. Shu sababli chiqindilarni qayta ishlash nafaqat iqtisodiy foyda, balki ekologik barqarorlikni ta'minlash nuqtai nazaridan ham katta ahamiyatga ega.

Oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlashda gravitatsion boyitish usuli keng qo'llaniladi. Ushbu texnologiya oltinning yuqori zichligiga asoslanadi va asosan yirik zarrachalarni ajratishda samarali hisoblanadi [8]. Gravitatsion separatorlar, spiral klassifikatorlar va konsentratsion stollar yordamida chiqindilar tarkibidan ma'lum miqdordagi erkin oltin ajratib olinadi. Biroq zamonaviy tailinglarning katta qismida oltin juda mayda dispers holatda bo'lgani sababli gravitatsion usulning samaradorligi ayrim hollarda past bo'lishi mumkin. Shu sababli gravitatsion boyitish ko'pincha boshqa texnologiyalar bilan kombinatsiyada qo'llaniladi.

Flotatsiya texnologiyasi sulfidli minerallar bilan bog'langan oltinni boyitishda muhim ahamiyatga ega [9]. Ushbu usulda maxsus reagentlar yordamida foydali minerallar ko'pik yuzasiga chiqariladi. Flotatsiyaning asosiy afzalligi mayda dispers zarrachalarni ajratib olish imkoniyatidir. Biroq reagent sarfi yuqoriligi va suv resurslariga bo'lgan ehtiyojning katta ekanligi ushbu texnologiyaning asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi [9]. Ayniqsa, suv tanqisligi kuzatilayotgan hududlarda suvni qayta aylantirish tizimlarini joriy etish dolzarb masala bo'lib qolmoqda.

Gidrometallurgik usullar, ayniqsa sianlash texnologiyasi, oltin ajratib olishda eng samarali usullardan biri sifatida e'tirof etiladi [10]. Natriy sianid eritmasi yordamida oltin eritmaga o'tkaziladi va keyinchalik sorbsiya yoki elektroliz usullari orqali ajratib olinadi [11]. Amaliyotda sianlash orqali oltin ajratib olish darajasi 90 % dan yuqori bo'lishi mumkin. Shu sababli ushbu texnologiya dunyo miqyosida keng qo'llanilmoqda.

Biroq sianlash texnologiyasining ekologik xavfi ham mavjud. Natriy sianid yuqori toksik modda bo'lib, uning noto'g'ri saqlanishi yoki ishlab chiqarish jarayonida sizib chiqishi atrof-muhit va inson salomatligiga jiddiy zarar yetkazishi mumkin [10]. Shu sababli zamonaviy korxonalarda chiqindilarni neytrallashtirish, yopiq suv aylanish tizimlari va xavfsizlik monitoringi tizimlari joriy etilmoqda. Ko'plab ilmiy markazlarda sianidsiz erituvchilar asosida oltin ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda.

So'nggi yillarda bio-gidrometallurgik texnologiyalar alohida ahamiyat kasb etmoqda [12]. Ushbu texnologiyada mikroorganizmlar yordamida sulfidli minerallar oksidlanadi va natijada oltinning keyingi eritmaga o'tish jarayoni osonlashadi. Biooksidlanish usuli tarkibida arsenopirit va pirit bo'lgan qiyin boyitiladigan chiqindilarni qayta ishlashda yuqori natija bermoqda [3]. Bundan tashqari, bio-gidrometallurgik usullar ekologik jihatdan nisbatan xavfsiz hisoblanadi, chunki jarayon tabiiy biologik reaksiyalar asosida amalga oshiriladi.

Biroq bio-gidrometallurgiyaning ayrim cheklavlari ham mavjud. Jarayonning davomiyligi uzoq bo'lishi mumkin va mikroorganizmlarning faoliyati harorat, pH muhiti hamda mineral tarkibiga kuchli bog'liq bo'ladi [12]. Shu sababli sanoat miqyosida ushbu texnologiyani qo'llash uchun optimal texnologik parametrlarni tanlash muhim hisoblanadi.

Jahon tajribasi shuni ko'rsatadiki, texnogen chiqindilarni qayta ishlash ko'plab davlatlarda iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qilmoqda. Janubiy Afrika Respublikasida eski tailing omborlarini qayta ishlash orqali qo'shimcha oltin olish hajmi sezilarli oshgan [4]. Kanada va Avstraliyada esa zamonaviy gidrometallurgik komplekslar yordamida eski chiqindilar qayta iqtisodiy aylanishga jalb etilgan [1]. Rossiya Federatsiyasida texnogen mineral resurslardan foydalanish bo'yicha davlat dasturlari ishlab chiqilgan bo'lib, ularda chiqindilarni qayta ishlash ekologik xavfsizlik bilan bog'liq strategik yo'nalish sifatida belgilangan [2].

O‘zbekiston sharoitida ham ushbu yo‘nalish katta istiqbolga ega. Respublikada Navoiy va Olmaliq kon-metallurgiya hududlarida katta hajmdagi tailing omborlari mavjud [5]. Ushbu chiqindilar tarkibida oltin bilan bir qatorda kumush, mis, molibden va boshqa foydali komponentlar saqlanadi. Zamonaviy texnologiyalar asosida ularni qayta ishlash orqali mineral resurslardan kompleks foydalanish imkoniyati kengayadi.

Mamlakatimizda kon-metallurgiya sanoatini modernizatsiya qilish doirasida innovatsion texnologiyalarni joriy etish bo‘yicha qator loyihalar amalga oshirilmoqda [5]. Jumladan, energiya tejamkor maydalash uskunalari, avtomatlashtirilgan boyitish tizimlari va raqamli monitoring texnologiyalari ishlab chiqarishga tatbiq etilmoqda. Bu esa ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bilan birga chiqindilar hajmini kamaytirishga xizmat qilmoqda.

Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning ijtimoiy ahamiyati ham katta. Bunday loyihalar yangi ish o‘rinlari yaratadi, hududiy infratuzilmani rivojlantiradi va eksport salohiyatini oshiradi. Ayniqsa, uzoq hududlarda joylashgan kon-metallurgiya korxonalarini atrofida iqtisodiy faollikning ortishi mahalliy aholi turmush darajasining yaxshilanishiga olib keladi.

Shuningdek, texnogen chiqindilarni qayta ishlash “yashil iqtisodiyot” tamoyillariga to‘liq mos keladi [6]. Chiqindilarni ikkilamchi resurs sifatida qayta foydalanish tabiiy resurslarni tejash, chiqindilar hajmini kamaytirish va ekologik barqarorlikni ta‘minlash imkonini beradi. Bu esa BMTning barqaror rivojlanish maqsadlari bilan hamohang hisoblanadi.

Kelajakda oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlashda sun‘iy intellekt va raqamli texnologiyalarning roli ortib borishi kutilmoqda. Zamonaviy sensor tizimlari yordamida chiqindilar tarkibini real vaqt rejimida monitoring qilish, boyitish jarayonlarini avtomatik boshqarish va energiya sarfini optimallashtirish imkoniyati paydo bo‘lmoqda [3]. Bundan tashqari, mashinali o‘qitish algoritmlari yordamida texnologik jarayonlarning optimal parametrlari aniqlanishi mumkin.

Energiya tejamkor texnologiyalarni qo‘llash ham muhim yo‘nalishlardan biridir. Kon-metallurgiya sanoati yuqori energiya talab qiladigan tarmoqlardan biri hisoblanadi. Shu sababli maydalash va boyitish jarayonlarida energiya sarfini kamaytiruvchi innovatsion texnologiyalar iqtisodiy samaradorlikni sezilarli oshiradi [7].

Umuman olganda, oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlash iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy jihatdan istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi. Zamonaviy ilmiy-texnik yutuqlar ushbu sohada yuqori samaradorlikka erishish imkonini bermoqda. Shu bilan birga, ekologik xavfsizlikni ta‘minlash, resurslardan oqilona foydalanish va innovatsion texnologiyalarni keng joriy etish ushbu yo‘nalishning kelgusidagi asosiy vazifalari bo‘lib qoladi [6].

Xulosa

Oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlash sanoatning iqtisodiy va ekologik barqarorligini ta‘minlovchi muhim yo‘nalish hisoblanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, texnogen chiqindilar tarkibidagi qimmatbaho metallardan samarali foydalanish orqali qo‘shimcha oltin olish, ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish va atrof-muhitga salbiy ta‘sirni qisqartirish mumkin.

Gravitatsion boyitish, flotatsiya, sianlash va bio-gidrometallurgik usullar texnogen chiqindilarni qayta ishlashda keng qo‘llanilmoqda. Ayniqsa, bio-gidrometallurgik texnologiyalar ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi.

O'zbekiston sharoitida texnogen chiqindilarni qayta ishlash bo'yicha innovatsion texnologiyalarni joriy qilish, ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish va sanoat korxonalarini bilan integratsiyani kuchaytirish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Habashi F. *Handbook of Extractive Metallurgy*. — Wiley-VCH, 1997. — Vol. 2. — B. 1125–1138.
2. Chanturiya V.A. *Texnogennoe mineralnoe syryo*. — Moskva: Gornaya kniga, 2010. — B. 54–76.
3. Rawlings D.E., Johnson D.B. *Biomining*. — Springer, 2007. — B. 221–245.
4. Wills B., Finch J. *Mineral Processing Technology*. — Elsevier, 2016. — B. 487–532.
5. Ergashev U.E. *O'zbekiston kon-metallurgiya sanoatida innovatsion texnologiyalar*. — Toshkent: Fan, 2020. — B. 95–117.
6. Mudd G.M. “The Environmental Sustainability of Mining in Australia”. *Journal of Cleaner Production*, 2007. — Vol. 15. — B. 98–115.
7. Gupta A., Yan D. *Mineral Processing Design and Operations*. — Elsevier, 2016. — B. 643–701.
8. Burt R.O. *Gravity Concentration Technology*. — Elsevier, 1984. — B. 145–168.
9. Fuerstenau M.C. *Flotation Technology*. — Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1982. — B. 203–241.
10. Marsden J., House I. *The Chemistry of Gold Extraction*. — SME, 2006. — B. 259–312.
11. Adams M.D. *Gold Ore Processing*. — Elsevier, 2016. — B. 715–748.
12. Brierley C.L. *Biohydrometallurgical Processing*. — Springer, 2008. — B. 177–209.