



## ARALASH TARKIBLI RUDALARNI BOYITISH VA CHIQINDILARINI QAYTA ISHLASH ORQALI KUMUSH AJRATIB OLISH

*Xujakulov N.B.* [0009-0006-4489-1812], *Nasirova N.R.* [0009-0000-5553-9706]

<sup>1</sup>Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, t.f.f.d. dotsent

E-mail: [xuja\\_nur@mail.ru](mailto:xuja_nur@mail.ru),

<sup>2</sup>Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, t.f.f.d. (PhD)

E-mail: [nigora.nasirova0502@gmail.com](mailto:nigora.nasirova0502@gmail.com)

**Annotatsiya.** Maqolada aralash tarkibli kumush saqllovchi rudalarni kompleks qayta ishlash yo'nalishi bo'yicha olib borilgan laboratoriya tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Tadqiqotning asosiy yo'nalishi rudaning tarkibidagi kumushni dastlab gravitatsion usulda ajratish va gravitatsion boyitish chiqindilarini keyingi qayta ishlash imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Tajribalar markazdan qochma «Knelson» konsentratori yordamida turli yanchish darajalarida olib borildi. Yanchish darajasining kumushning gravitatsion boyitmaga o'tishiga ta'siri o'rganilib, bosqichma-bosqich yanchish va boyitish jarayonlarining samaradorligi baholandi. Gravitatsion boyitishdan keyin hosil bo'lgan chiqindilarni sorbsion sianlash orqali qayta ishlash bo'yicha tajribalar o'tkazildi.

Tadqiqot natijalari kumushning gravitatsion boyitish va sorbsion sianlash jarayonlari mahsulotlari bo'yicha taqsimlanish xususiyatlarini aniqlash imkonini berdi. Olingan natijalar aralash tarkibli kumush saqllovchi rudalarni qayta ishlashda gravitatsion boyitish va keyingi gidrometallurgik jarayonlarni uyg'unlashtirish imkoniyatini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** aralash tarkibli rudalar, gravitatsion boyitish, markazdan qochma konsentrator, «Knelson», yanchish darajasi, kumushni ajratib olish, boyitma, chiqindi, flotatsiya, sorbsion sianlash.

**Аннотация.** В статье представлены результаты лабораторных исследований комплексной переработки серебросодержащих руд смешанного состава. Основное внимание в исследовании уделено определению возможностей первичного гравитационного отделения серебра в руде и последующей переработки отходов гравитационного обогащения. Эксперименты проводились с использованием центробежного концентратора «Knelson» при различных степени измельчения. Изучалось влияние степени измельчения на извлечения серебра в процесс гравитационного обогащения, а также оценивалась эффективность поэтапных процессов измельчения и обогащения. Были проведены эксперименты по переработке отходов, образовавшихся после гравитационного обогащения, методом сорбционного цианирования.

Результаты исследований позволили определить характеристики распределения серебра в продуктах процессов гравитационного обогащения и сорбционного цианирования. Полученные результаты указывают на возможность комбинирования процессов гравитационного обогащения и последующих гидromеталлургических процессов при переработке серебросодержащих руд смешанного состава.

**Ключевые слова:** смешанные руды, гравитационное обогащение, центробежный концентратор, «Knelson», степень измельчения, извлечение серебра, концентрат, хвосты, флотация, сорбционное цианирование.

**Annotation.** This article presents the results of laboratory studies on the integrated processing of mixed-composition silver-bearing ores. The study focuses primarily on determining the feasibility of initial gravity separation of silver from the ore and the subsequent processing of gravity tailings. Experiments were conducted using a Knelson centrifugal concentrator at various degrees of grinding. The study examined the effect of the grinding degree on silver recovery during gravity concentration and evaluated the efficiency of staged grinding and concentration processes. Experiments were also carried out to process the gravity tailings using sorption cyanidation.

The results made it possible to characterize silver distribution in the products of both gravity concentration and sorption cyanidation. The findings indicate the potential for combining gravity concentration with subsequent hydrometallurgical processes when treating mixed-composition silver-bearing ores.

**Keywords:** mixed ores, gravity separation, centrifugal concentrator, Knelson, grinding degree, silver recovery, concentrate, tailings, flotation, sorption cyanidation.



## Kirish

Aralash tarkibli qimmatbaho metallar saqllovchi rudalarni qayta ishlashda mineral xomashyoning murakkab moddiy tarkibi texnologik jarayonlarni tanlashga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Bunday rudalarni qayta ishlash amaliyotida qimmatbaho komponentlarni dastlabki boyitish va keyinchalik boyitma hamda chiqindilarni alohida qayta ishlashga asoslangan texnologik yondashuvlardan foydalaniladi [1, 2].

Rudaning mineralogik xususiyatlari va qimmatbaho komponentlarning zarracha tarkibida taqsimlanishi yanchish va boyitish jarayonlarining texnologik ko'rsatkichlarini belgilovchi muhim omillardan hisoblanadi [3, 4].

Gravitatsion boyitish jarayoni qimmatbaho metallarning zichlik farqidan foydalanishga asoslangan bo'lib, rudalarni qayta ishlashning dastlabki bosqichida qimmatbaho komponentlarning bir qismini boyitib boyitmaga o'tkazish imkonini beradi.

Jarayon samaradorligi, avvalo, qimmatbaho minerallarning ochilish darajasi, zarracha o'lchami va ularning mineralogik shakliga bog'liq. Shu sababli yanchish jarayonini to'g'ri tashkil etish va optimal yanchish darajasini tanlash gravitatsion boyitish jarayoni natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [2, 3]. Ayniqsa, murakkab tarkibli rudalarda qimmatbaho komponentlarning mayda zarrachalar holida tarqalishi ularni faqat gravitatsion boyitish to'liq ajratib olish imkoniyatini cheklashi mumkin. Bunday holatda gravitatsion boyitishdan keyingi chiqindilarni qo'shimcha qayta ishlash zarurati yuzaga keladi.

Qimmatbaho metallarning bir qismi gravitatsion boyitish jarayonida ajratib olinmay, chiqindilar tarkibida qolishi mumkin. Shu sababli bunday chiqindilarni gidrometallurgik usullar yordamida qayta ishlash kumushning umumiy ajratib olinish darajasini oshirishning muhim yo'nalishlaridan biridir.

Adabiyotlarda kumush saqllovchi rudalarni sianlashdan oldin kislotali yoki ishqoriy muhitda dastlabki ishlov berish orqali qimmatbaho komponentlarning keyingi eritmaga o'tishini yaxshilash imkoniyatlari ko'rsatilgan [5, 6]. Nitrat kislota yordamida qo'rg'oshin-rux-kumush boyitmalarini qayta ishlash bo'yicha tadqiqotlarda ham kumushning eritmaga o'tish jarayoniga dastlabki ishlov berish sharoitlarining ta'siri o'rganilgan [7, 8]. Kumushni sianlash jarayonining o'ziga xos xususiyatlari va uning samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillar ham alohida tadqiqotlarda ko'rib chiqilgan [9].

Kumush tarkibli rudalarni qayta ishlashda gravitatsion boyitish usullari qimmatbaho minerallarning zichliklaridagi farqdan foydalanish imkonini beradi. Ayniqsa, markazdan qochma kuch maydonida ishlaydigan zamonaviy gravitatsion konsentratorlardan foydalanish mayda zarrachalar tarkibidagi qimmatbaho komponentlarni ajratib olish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Shu bilan birga, gravitatsion boyitish samaradorligi rudaning yanchish darajasi, zarrachalarning o'lchami va qimmatbaho komponentlarning mineral tarkibida tarqalish xususiyatlariga bog'liq.

Mazkur tadqiqotda kumush tarkibli rudani intensiv gravitatsion boyitish sharoitida qayta ishlash imkoniyati o'rganildi. Tajribalar «Knelson» markazdan qochma konsentratorida olib borilib, rudaning o'lchami -0,074 mm sinf bo'yicha 50, 65 va 80 % gacha yanchish darajalarining kumushni boyitmaga ajralishi aniqlandi.

Laboratoriya sharoitida markazdan qochma maydon tezlanishi 90 g, flyuidizatsion suv sarfi esa 3 l/min ni tashkil etdi. Turli xil sinfdagi dastlabki rudani gravitatsion boyitish bo'yicha olingan natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

Laboratoriya sharoitida gravitatsion boyitish natijalari shuni ko'rsatdiki, rudaning yanchilish darajasini oshirish kumushning gravitatsion boyitish jarayonidagi ajratib olinishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.



1-jadval.

## Turli xil sinfdagi dastlabki rudani gravitatsion boyitish natijalari

| Mahsulot nomi        | Chiqish<br>, % | Miqdori. % |          |            | Ajrati b olish. % |          |            |
|----------------------|----------------|------------|----------|------------|-------------------|----------|------------|
|                      |                | Ag,<br>g/t | Ss,<br>% | Corg,<br>% | Ag,<br>%          | Ss,<br>% | Corg,<br>% |
| 50%. - 0.074 mm sinf |                |            |          |            |                   |          |            |
| Bovitma              | 0.88           | 5.3        | 6.8      | 0.26       | 2.09              | 5.2      | 0.7        |
| Chiqindi             | 99.12          | 2.2        | 1.1      | 0.33       | 97.91             | 94.8     | 99.3       |
| Jami:                | 100            | 2.23       | 1.15     | 0.33       | 100               | 100      | 100        |
| 65%. - 0.074 mm sinf |                |            |          |            |                   |          |            |
| Bovitma              | 0.85           | 11.1       | 12.7     | 0.22       | 3.97              | 10.3     | 0.5        |
| Chiqindi             | 99.15          | 2.3        | 0.95     | 0.35       | 96.03             | 89.7     | 99.5       |
| Jami:                | 100            | 2.37       | 1.05     | 0.35       | 100               | 100      | 100        |
| 80%. - 0.074 mm sinf |                |            |          |            |                   |          |            |
| Bovitma              | 1.00           | 10.9       | 17.0     | 0.2        | 4.77              | 15.4     | 0.6        |
| Chiqindi             | 99.00          | 2.2        | 0.94     | 0.33       | 95.23             | 84.6     | 99.4       |
| Jami:                | 100            | 2.29       | 1.10     | 0.33       | 100               | 100      | 100        |

-0,074 mm sinf miqdori 50 % dan 65 % gacha oshirilganda boyitmadagi kumushning ajratib olinishi 2,09 % dan 3,97 % gacha, 80 % gacha oshirilganda esa 4,77 % gacha yetgan. Bunday o'zgarish aralash tarkibli rudalarda kumush tarkibli minerallarning yanchish jarayonida ochilishi va gravitatsion ajratish uchun qulayroq zarracha o'lchamining hosil bo'lishi bilan bog'liq.

Shu bilan birga, yanchish darajasining oshishi boyitma chiqishiga sezilarli ta'sir ko'rsatmagan bo'lsa-da, boyitmadagi kumush miqdorining 5,3 g/t dan 10,9 g/t gacha oshishi kuzatildi. Bu holat yanchish jarayonida qimmatbaho komponentlarning nisbatan boy fraksiyalarda to'planishi va gravitatsion boyitish jarayonida ularning ajralish imkoniyati ortishini ko'rsatadi. Biroq kumushning umumiy ajratib olinishi hali ham past bo'lib, bu usulni mustaqil texnologik jarayon sifatida qo'llash imkoniyatlarini cheklaydi. Shu sababli gravitatsion boyitish mahsulotlari, ayniqsa chiqindilarini, keyingi qayta ishlash usullari bilan birgalikda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

2-jadval.

## Bosqichma-bosqich gravitatsion boyitish jarayoni natijalari

| Mahsulot nomi          | Chiqish<br>, % | Miqdori, %  |             |             | Ajrati b olish, % |               |               |
|------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------------|---------------|
|                        |                | Ag,<br>g/t  | Ss,<br>%    | Corg,<br>%  | Ag,<br>%          | Ss,<br>%      | Corg,<br>%    |
| <b>boyitma 1</b>       | 0,92           | 4,50        | 6,20        | 0,36        | 2,07              | 5,56          | 0,95          |
| <b>boyitma 2</b>       | 0,81           | 5,40        | 7,70        | 0,28        | 2,19              | 6,08          | 0,65          |
| <b>boyitma 3</b>       | 0,81           | 8,30        | 13,10       | 0,25        | 3,37              | 10,34         | 0,58          |
| <b>boyitma 1+2+3</b>   | 2,54           | 6,00        | 8,88        | 0,30        | 7,63              | 21,97         | 2,19          |
| <b>boyitma 4</b>       | 0,78           | 8,50        | 11,50       | 0,26        | 3,32              | 8,74          | 0,58          |
| <b>Boyitma 1+2+3+4</b> | 3,32           | 6,59        | 9,49        | 0,29        | 10,95             | 30,71         | 2,77          |
| <b>boyitma 5</b>       | 0,77           | 6,80        | 8,90        | 0,26        | 2,62              | 6,68          | 0,58          |
| <b>Boyitma umumiy</b>  | <b>4,09</b>    | <b>6,63</b> | <b>9,38</b> | <b>0,28</b> | <b>13,57</b>      | <b>37,39</b>  | <b>3,35</b>   |
| <b>Chiqindi</b>        | 95,91          | 1,80        | 0,67        | 0,35        | 86,43             | 62,61         | 96,65         |
| <b>Ruda</b>            | <b>100,00</b>  | <b>2,00</b> | <b>1,03</b> | <b>0,35</b> | <b>100,00</b>     | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> |

Laboratoriya sharoitida dastlabki rudani ko'p bosqichli gravitatsion boyitish amalga oshirildi. Birinchi bosqich boyitmasi 2 mm o'lchamda yanchilgan dastlabki rudadan olingan. Olingan gravitatsiya jarayoni chiqindilari belgilangan vaqt oralig'ida ketma-ket turli o'lchamlarda yanchilib (50; 65 va 80% 0,074 mm o'lchamda 3 bosqichli yanchish) 3



boshqichli boyitish jarayoni amalga oshirildi. Beshinchi bosqich nazorat bosqichi hisoblanadi. Olingan natijalar 2-jadvalda ko'rsatilgan.

Bosqichma-bosqich yanchish va gravitatsion boyitishda kumushning boyitmaga ajratib olinishi 13,57 % ni tashkil etdi, bunda chiqindilardagi oltin miqdori 1,8 g/t bo'ldi. Bu ko'rsatkich yanchilgan rudani to'g'ridan-to'g'ri boyitishdagi natijaga nisbatan 8,4 % ga yuqori. Biroq kumushning ajratib olinish darajasi hanuz pastligicha qolmoqda. Shuni hisobga olish kerakki, mazkur natijalar stadiyal boyitish, intensiv gravitatsion boyitish va yanchishning yakuniy bosqichida yetarlicha mayda zarracha o'lchamiga erishilgan sharoitlarda olingan. Sanoat sharoitlarida esa an'anaviy gravitatsion boyitish apparatlaridan (konsentratsion stol, cho'ktirish mashinalari) foydalanilganda kumushning kutilayotgan ajratib olinish darajasi taxminan 8-10 % ni tashkil etishi mumkin. Bu esa gravitatsion boyitish jarayoni uchun yetarlicha samarali ko'rsatkich hisoblanmaydi.

Gravitatsion boyitish jarayoni chiqindilari tarkibidan kumushni maksimal ajratib olish maqsadida sorbsion sianlash jarayoni bo'yicha laboratoriya tadqiqotlari amalga oshirildi. Sorbsion sianlash vaqti 18 soatni tashkil qildi, NaCN konsentratsiyasi 250 mg/l, pH 10,5-11,0 oralig'ida amalga oshirildi. 3-jadvalda gravitatsion boyitish jarayoni chiqindilarini sorbsion sianlash natijalari keltirilgan.

3-jadval.

**Gravitatsion boyitish chiqindilarini sorbsion sianlash natijalari**

| Mahsulot nomi                        | Sianlash jarayoni ko'rsatgichlari |                   |                              |        |      | Результаты цианирования |                 |                    |                              |                            |     |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|--------|------|-------------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|-----|
|                                      | Vaqt, soat                        |                   | NaCN konsentratsi yasi, mg/l |        | pH   | Ag miqdori, g/t         |                 |                    | Ajratib olish darajasi Ag, % | Reagent sarfi, kg/t (100%) |     |
|                                      |                                   |                   |                              |        |      | dastlabki               | Dastl. sianlash | Sorbsiya chiqindil |                              | NaCN                       | CaO |
|                                      | Dastlabki                         | Sorbsion sianlash | Bo'sh                        | Oxirgi |      |                         |                 |                    |                              |                            |     |
| Gravitatsiya chiqindilari (knelson). | 6,0                               | 12,0              | 250                          | 230,0  | 10,8 | 1,8                     | 1,5             | 1,20               | 33,4                         | 0,81                       | 1,4 |
|                                      | -                                 | 18,0              | 250                          | 240,0  | 10,7 | 1,8                     | -               | 1,14               | 36,6                         | 0,89                       | 1,4 |

Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki, gravitatsion boyitish jarayoni chiqindilarini sorbsion sianlash orqali metallning maksimal ajratib olinish darajasi 36,6 % ni tashkil etdi. Bunda sorbsion sianlash chiqindilaridagi metall miqdori 1,14 g/t ni tashkil qildi. Gravitatsion boyitish jarayoni chiqindilaridan kumushni umumiy ajratib olish darajasi 31,6 % ni tashkil etdi. Gravitatsiya-sorbsion sxema bo'yicha, gravitatsion boyitmadan ajratib olishni hisobga olmagan holda, umumiy ajratib olish darajasi 45,17 % ni tashkil etdi.

Sianlash vaqtining uzaytirilishi kumushning eritmaga o'tishi va keyinchalik sorbent tomonidan yutilishi uchun qo'shimcha vaqt yaratadi. Biroq olingan natijalar kumushning to'liq ajratib olinishiga erishilmaganligini ko'rsatadi. Bu holat kumushning rudada turli mineral shakllarda uchrashi, ayrim zarrachalarning ochilmaganligi yoki sianlash reagentlari bilan o'zaro ta'sirlashishining qiyinligi bilan izohlanishi mumkin.

Shu nuqtai nazardan, gravitatsion boyitish chiqindilarini dastlab flotatsion boyitish, so'ngra sorbsion sianlash orqali qayta ishlash istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Flotatsiya orqali kumush tarkibli minerallarni konsentratsiyalash va keyingi sianlash jarayoniga yuborish qimmatbaho komponentlarning eritmaga o'tishini yaxshilashi



mumkin. Mazkur yondashuv gravitatsion, flotatsion va gidrometallurgik jarayonlarning afzalliklarini birlashtirgan kompleks texnologik sxemani shakllantirish imkonini beradi.

## Xulosa

O'tkazilgan laboratoriya tadqiqotlari natijasida kumush tarkibli rudani gravitatsion boyitish hamda gravitatsion boyitish chiqindilarini keyingi qayta ishlash samaradorligi baholandi.

1. «Knelson» markazdan qochma konsentratorida rudani turli maydalash darajalarida gravitatsion boyitish natijasida -0,074 mm sinf miqdorini 50 % dan 80 % gacha oshirish kumushning boyitmaga ajratib olinishini 2,09 % dan 4,77 % gacha oshirish imkonini berdi. Bu yanchish darajasining kumushni gravitatsion usulda ajratib olishga ijobiy ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi.

2. Bosqichma-bosqich yanchish va gravitatsion boyitish natijasida umumiy boyitmaning chiqishi 4,09 %, undagi kumush miqdori 6,63 g/t, kumushning boyitmaga ajratib olinishi esa 13,57 % ni tashkil etdi. Gravitatsion boyitish chiqindilarida kumush miqdori 1,80 g/t bo'lib, kumushning 86,43 % qismi chiqindilarda qolgan.

3. Olingan natijalar kumushning faqat gravitatsion usulda ajratib olinish darajasi nisbatan past ekanligini ko'rsatdi. Shu sababli gravitatsion boyitish chiqindilarini qo'shimcha qayta ishlash kumushning umumiy ajratib olinishini oshirishning muhim yo'nalishi hisoblanadi.

4. Umuman olganda, tadqiqot natijalari aralash tarkibli rudalarni qayta ishlashda faqat gravitatsion boyitish bilan cheklanib qolmasdan, gravitatsion boyitish chiqindilarini keyingi flotatsion qayta ishlash bilan birlashtirish kumushni qo'shimcha ravishda ajratib olish imkonini berishini ko'rsatdi. Olingan natijalar kumushni kompleks ravishda ajratib olishga yo'naltirilgan kombinatsiyalangan texnologik sxemani ishlab chiqish uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

## Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

[1] Теория и практика освоения перератки золотосодержащих упорных руд Кызылкумов / К.С.Санакулов., У.А. Эргашев.// Ташкент 2014г.

[2] Нодир металлар металлургияси / Н.А.Донияров, Н.Б.Хужакулов, Б.Р.Вохидов, О.А.Азимов, А.Р.Арипов // Тошкент-2021.

[3] А.А.Саидахмедов, С.К.Ярлакабов, Н.Р.Насирова, И.И.Мажидова, Ш.Н.Туробов, Т.Т.Сирожов. Роль материала критической крупности при само-и полусамоизмельчении. ББК 1 П27. 2018/6/15. pp.67.

[4] Н.Хужакулов, Н.Насирова. Исследование методов переработки золотосодержащих техногенных отходов. E3S Web of Conferences 627, 03008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2025627030>

[5] Acidic pretreatment of a copper silver ore and its beneficial effect on cyanide leaching. (2020). Minerals Engineering, 149, 106233. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106233>

[6] Awe, S. A., et al. (2011). Implementation of sodium hydroxide pretreatment for refractory antimonial gold and silver ores. Hydrometallurgy, 108(1–2), 109–114.

[7] Nitric acid pretreatment applied to a refractory gold tellurides ore. (2023). Mining, Metallurgy & Exploration, 40, 2051–2058.

[8] Pressure leaching of a lead zinc silver concentrate with nitric acid at moderate temperatures. (2010). Hydrometallurgy, 104(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.04.001>

[9] Advances in the cyanidation of silver. (2011). Mining, Metallurgy & Exploration, 28, 37–42.